I Kerekeș
Z Lokodi

Montarea corectă a contoarelor electrice trifazate

80

colecția electricianului

editura tehnică

Lucrarea cuprinde îndrumări practice pentru montarea fără erori de conexiune a contoarelor trifazate de inducție, astfel încît să fie posibilă eliminarea, încă în faza de montaj, a unor condiții care generează erori de măsurare. Metoda propusă se bazează pe construirea diagramei vectoriale utilizînd rezultatele măsurărilor efectuate cu ajutorul wattmetrului. În acest fel sînt asigurate atît executarea corectă a conexiunilor, cît și mărirea randamentului la montare, prin eliminarea tatonărilor, a revenirilor asupra schemei de montaj.

Cartea prezintă sistematic o metodologie de lucru general valabilă pentru electricienii din întreprinderile sistemului energetic, din întreprinderile industriale sau din alte sectoare consumatoare de energie electrică.

Control științific: **Ing. ALEXANDRU EMANOIL.**
Redactor: **Ing. PAULINA DUMITRESCU.**
Tehnoredactor: **VALERIU MORĂRESCU.**
Coperta: **Arh. VALENTIN VIȘAN.**

Bun de tipar: 04. 03. 1975. Coli de tipar: 6,75. Tiraj: 9 800+90 exemplare broșate. C.Z. 621.317.785.002.72. Tiparul executat sub comanda nr. 53 la Întreprinderea poligrafică „Crișana", Oradea, str. Moscovei nr. 5.

Prefață

Elaborarea unui îndrumător pentru montarea corectă a contoarelor trifazate a rezultat din necesitatea îmbunătățirii activității de verificare a montajelor grupurilor de măsurare a energiei electrice.

Lucrarea nu tratează contoarele trifazate în general; problemele privind construcția, funcționarea, întreținerea și reglarea în laborator a acestora sînt tratate pe larg în literatura de specialitate existentă. În majoritatea publicațiilor este prezentată și importanța conectării corecte a contoarelor, a succesiunii corespunzătoare a fazelor, indicîndu-se și cazuri de conexiuni incorecte, cu erorile care rezultă. Scopul lucrării de față este acela de a da îndrumări practice pentru evitarea erorilor de conectare a contoarelor trifazate de inducție, preîntîmpinîndu-se înregistrările greșite determinate de acestea.

În producția de bunuri materiale, energia electrică participă în prețul de cost al unor produse (carbid, clor, acetilenă, îngrășăminte azotoase, ciment și altele) cu o pondere însemnată. Măsurarea energiei consumate trebuie efectuată cu erori de funcționare ale contoarelor în limite admise, dar mai ales fără erori de montare. Problema prezintă aceeași importanță atît în cadrul sistemului energetic, cît și în cadrul întreprinderilor industriale, unde reducerea consumurilor specifice trebuie să constituie o preocupare permanentă.

Avînd în vedere consecințele erorilor de montare (denaturarea indicilor de consum, a pierderilor în rețele etc.), se impune cunoașterea și aplicarea unei metode care să garanteze executarea corectă și cu randament maxim a conexiunilor, eliminîndu-se tatonările și revenirile asupra schemei de montaj. În același timp, procedeul trebuie să fie aplicabil în condițiile

menținerii în funcțiune a instalațiilor, fără întreruperea alimentării cu energie electrică a consumatorilor.

Metoda de verificare a conexiunii contoarelor trifazate cu ajutorul diagramei vectoriale, construită în baza măsurărilor cu wattmetrul, îndeplinește condițiile menționate; de aceea, metoda va fi expusă astfel ca ea să fie accesibilă electricienilor montori de contoare.

Considerăm că în felul acesta am realizat o lucrare de utilitate practică, ajutînd în munca lor pe electricienii P.R.A.M., pe cei care lucrează în întreprinderile de rețele și de centrale electrice, cît și pe cei din întreprinderile industriale sau din alte sectoare în care se utilizează energia electrică. Inginerilor și tehnicienilor care coordonează perfecționarea profesională a personalului de execuție, îndrumătorul le va putea servi drept ghid pentru pregătirea lucrărilor de instruire.

Autorii

1. Consecințele erorilor de montare a contoarelor

1.1. Importanța și necesitatea legăturilor corecte la montarea contoarelor trifazate

În condițiile existenței sistemului energetic complex și a industriei dezvoltate, urmărirea pierderilor în rețele de transport și distribuție, respectiv a consumurilor specifice pe produse, capătă o importanță deosebită ca mijloc de determinare a economicității transportului pe diverse trepte de vehiculare a energiei electrice și a influenței consumului în evoluția prețului de cost al bunurilor realizate.

Dacă etalonarea contoarelor de energie electrică și verificarea erorilor de funcționare a acestora este o chestiune importantă care intră în preocupările organelor metrologiei de stat, nu mai puțină însemnătate are montarea corectă a acestor contoare în instalațiile de producere, transport și distribuție a energiei electrice, precum și la consumatori.

Pentru a monta corect un contor trifazat, în afara cunoașterii rețelei electrice și a construcției contorului, trebuie respectată schema de montaj dată de fabrică. Montarea corectă presupune cunoașterea succesiunii fazelor rețelei și respectarea aceleiași succesiuni la bornele de tensiune ale contorului. De asemenea, se impune realizarea concordanței între bornele contorului și ale transformatoarelor de curent, respectîndu-se polaritatea acestora. Cu alte cuvinte este necesar ca fiecare sistem activ al contorului să fie parcurs în sens bine determinat de curentul de pe faza potrivită și să i se aplice tensiunea corespunzătoare.

1.2. Diversitatea schemelor de montaj

În sistemele trifazate de curent alternativ se utilizează distribuția prin rețele cu patru conductoare (trei faze și nul) în cazul alimentării la tensiunea de 380/220 V și cu trei conductoare de fază în rețele de transport și distribuție de medie și înaltă tensiune. Pentru consumatori speciali (în mine) se folosește, și la tensiunea de utilizare, distribuția prin rețele cu trei conductoare de fază, cu neutrul izolat.

În mod corespunzător, pentru măsurarea energiei electrice, în funcție de tipul rețelei, se folosesc contoare trifazate cu trei sisteme active pentru rețele cu patru conductoare și contoare trifazate cu două sisteme active în rețele cu trei conductoare.

Un sistem activ, în construcția contoarelor, este compus dintr-o bobină de curent, o bobină de tensiune și un magnet permanent, ansamblu care acționează asupra discului de aluminiu. În cazul contoarelor cu două sisteme active se prevede cîte un disc de aluminiu pe ax comun pentru fiecare sistem, dar cele două sisteme active pot avea și un singur disc comun. În cazul contoarelor cu trei sisteme active pot exista trei discuri de aluminiu pe ax comun, dar mai frecvent se fabrică contoare cu două discuri, discul superior fiind sub influența a două sisteme active, iar cel inferior a unui singur sistem activ. Schema electrică, indiferent de numărul discurilor, se reprezintă simplificat ca în fig. 1, respectiv fig. 2

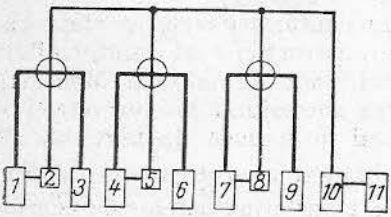


Fig. 1. Schema contorului trifazat de energie activă cu trei sisteme active pentru rețea cu patru conductoare (CA—43).

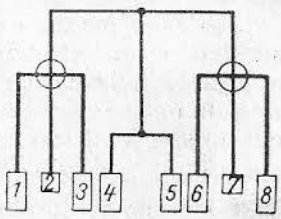


Fig. 2. Schema contorului trifazat de energie activă cu două sisteme active pentru rețea cu trei conductoare (CA—32).

În cazul rețelelor de joasă tensiune, la o sarcină de peste 30 A, contoarele se leagă în circuit prin intermediul transformatoarelor de curent, iar în cazul cînd măsurarea se efectuează pe partea de înaltă tensiune, se folosesc transforma-

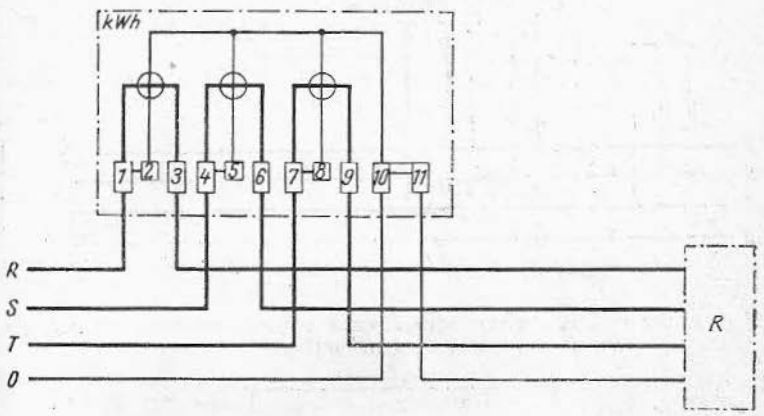


Fig. 3. Schemă de legare directă pentru contorul trifazat cu trei sisteme active.

toare de măsură pentru racordarea atît a bobinelor de curent cît și a celor de tensiune. Astfel, contoarele trifazate de $3 \times 380/220$ V (CA-43) pot avea montaj direct (fig. 3) sau semidirect (fig. 4), pe cînd contoarele trifazate de înaltă tensiune (X/100 V; Y/5 A) se racordează în montaj indirect (fig. 5).

Contoarele de energie reactivă au aceleași scheme de montaj ca și cele de energie activă (ele se deosebesc de contoarele active prin legăturile lor interne).

Pentru montarea contoarelor de energie reactivă se utilizează schema de legături prezentată în fig. 6 (montaj semidirect), respectiv în fig. 7 (montaj indirect), prin care se realizează înserierea bobinelor de curent corespunzătoare și legarea în paralel a bobinelor de tensiune ale contoarelor de energie activă și de energie reactivă.

Numărul mare de legături la montarea contoarelor trifazate, comportă posibilitatea apariției unui număr conside-

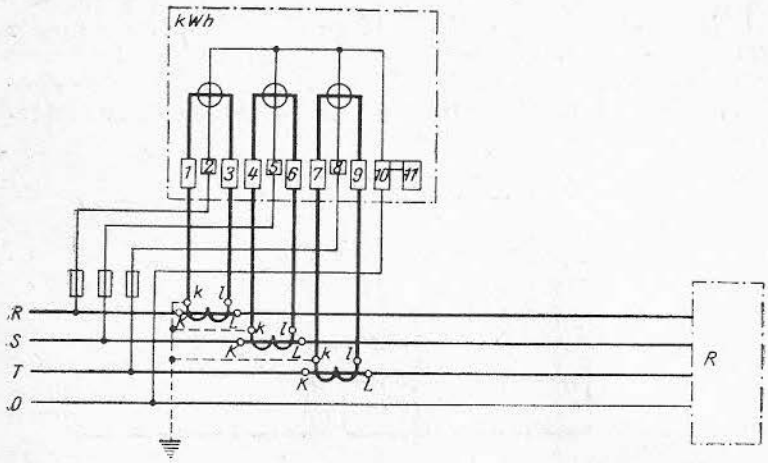


Fig. 4. Schemă de legare semidirectă pentru contorul trifazat cu trei sisteme active.

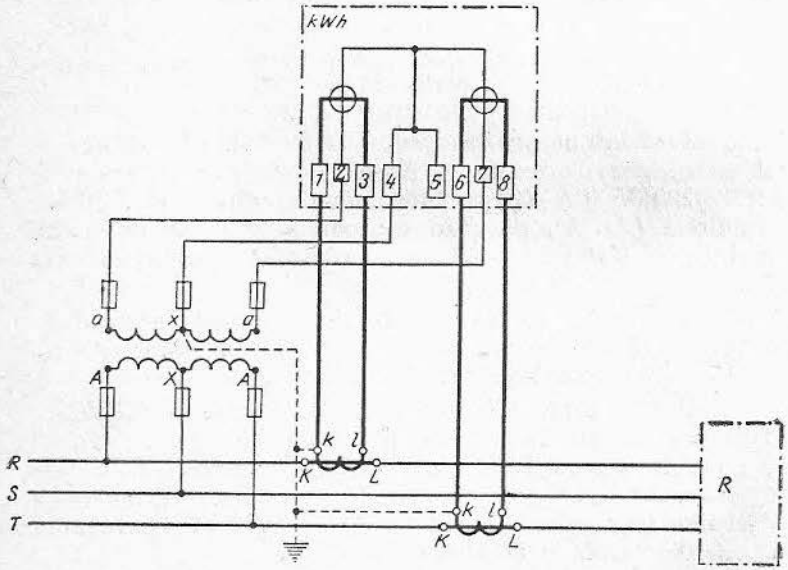


Fig. 5. Schemă de legare indirectă pentru contorul trifazat cu două sisteme active.

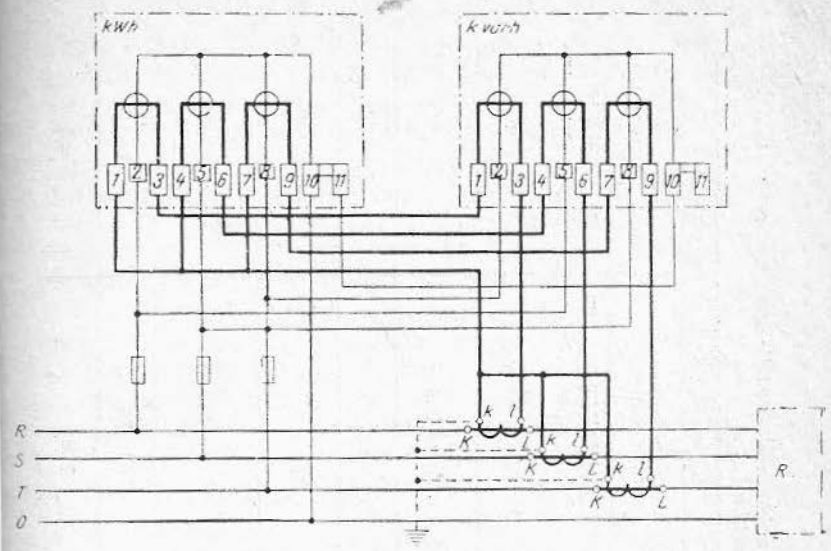


Fig. 6. Schemă de legare semidirectă a ansamblului de contoare trifazate cu trei sisteme active pentru măsurarea energiei active şi reactive.

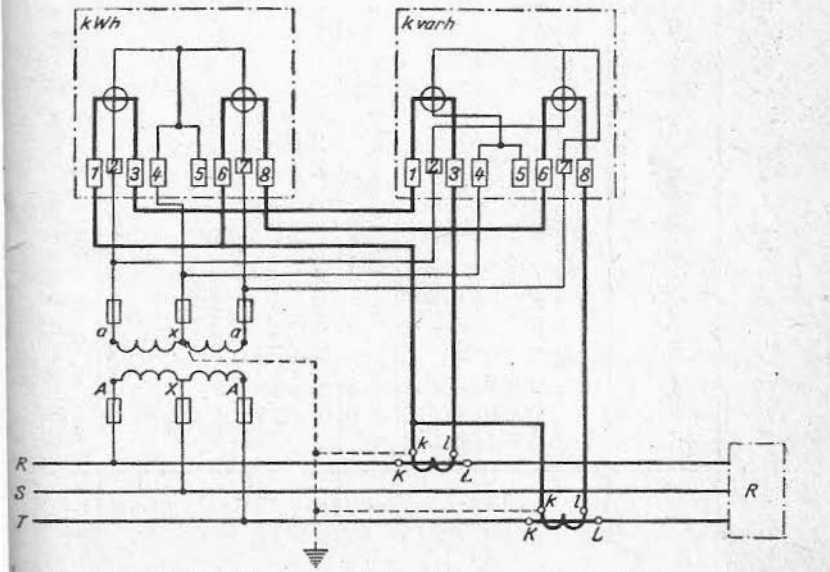


Fig. 7. Schemă de legare indirectă a ansamblului de contoare trifazate cu două sisteme active pentru măsurarea energiei active şi reactive.

Tabelul 1

Varietatea schemelor de conexiuni determinată de aranjamentele posibile ale legăturilor la bornele contorului trifazat

Nr. crt.	Condiții legate de posibilitățile de verificare a circuitelor de măsură	Numărul de montaje posibile	
		Contor trifazat cu trei sisteme active	Contor trifazat cu două sisteme active
	Dispunerea bornelor		
1	Nu se cunoaște destinația nici unui conductor al circuitelor de măsură (caz banal)	$10!=3\,628\,800$	$7!=5\,040$
2	Se pot distinge conductoarele de curent de cele de tensiune (nulul fiind identificat)	$6!\,3!=4\,320$	$4!\,3!=144$
3	Idem ca 2, în plus se cunoaște succesiunea corectă a fazelor	$6!\,3=2\,160$	$4!\,3=72$
4	Este identificată proveniența și succesiunea corectă a conductoarelor de tensiune la bornele contorului	$6!=720$	$4!=24$
5	Sînt separate conductoarele de curent de cele de tensiune și se cunoaște proveniența circuitelor de curent (nulul fiind identificat)	$2^3\cdot 3!=48$	$2^2\cdot 3!=24$
6	Idem ca 5, în plus se cunoaște succesiunea corectă a fazelor	$2^3\cdot 3=24$	$2^2\cdot 3=12$
7	Idem ca 6, în plus se poate identifica proveniența conductoarelor de tensiune	$2^3=8$	$2^2=4$

rabil de erori de conexiune care pot proveni fie din legarea greșită a circuitelor primare ale transformatoarelor de măsură, fie mai ales din legarea greșită a bornelor contoarelor în circuitele secundare ale acestor transformatoare.

Numărul legăturilor greșite, care pot să apară la montarea unui contor trifazat, este cu atît mai mare cu cît posibilitățile de identificare fir cu fir a conductoarelor circuitelor de măsură sînt mai reduse datorită inaccesibilității pe care o comportă instalația aflată sub tensiune.

Pentru a scoate în evidență multitudinea erorilor de racordare, luînd în considerare numai acele inversări ce pot fi efectuate la bornele contorului trifazat, în tabelul 1 se prezintă numărul posibil de conexiuni, în diverse ipoteze de identificare a circuitelor. Bineînțeles, dintre variantele de legături posibile este corectă numai conexiunea care îndeplinește toate condițiile arătate la subcap. 1.1.

1.3. Erorile de înregistrare determinate de abateri în schema de conexiuni

Corespunzător celor arătate la subcap. 1.1, la montarea contoarelor trifazate trebuie respectate o serie de condiții, pentru ca măsurarea energiei electrice să se facă fără erori. Greșelile de montare care determină erori de măsurare sînt următoarele:

— neconcordanță între bornele transformatoarelor de măsură și bornele contorului;

— marcarea greșită a bornelor;

— nerespectarea ordinei de succesiune a fazelor.

În afara acestor greșeli erorile de înregistrare pot fi cauzate și de apariția unor deranjamente, cum sînt întreruperile de circuit.

Concordanța între bornele transformatoarelor de măsură și cele ale contorului constituie o condiție principală pentru realizarea conexiunii corecte. Posibilitățile de a comite erori de conexiune la stabilirea legăturilor de racordare ale contorului sînt foarte numeroase. În acest sens este semnificativ tabelul 1 care evidențiază numărul de inversări posibile ale legăturilor la bornele contorului.

Marcarea corectă a bornelor transformatoarelor de măsură constituie condiție elementară pentru evitarea unor erori ascunse, care rămîn nedescoperite chiar după identificarea fir cu fir a circuitelor.

Marcarea inversă — greșeală de fabricație cu frecvență foarte redusă de apariție — poate fi pusă în evidență prin verificarea polarității bornelor.

Respectarea ordinei de succesiune a fazelor poate condiționa corectitudinea înregistrării, funcție de tipul constructiv al contoarelor. Astfel, la contoarele trifazate destinate măsurării în rețele încărcate simetric și care posedă un singur disc rotativ, precum și la contoarele trifazate pentru energie reactivă, în general, schimbarea ordinei de succesiune a fazelor echivalează cu o greșeală de montare a contorului.

La contoarele folosite în rețele trifazate cu trei conductoare (fără fir neutru), în care există două sisteme active montate după metoda celor două wattmetre, înregistrările sînt teoretic independente de ordinea de succesiune a fazelor. Totuși, dacă la etalonarea contorului nu s-a realizat un reglaj identic pentru fiecare din cele două sisteme active, eroarea de măsurare a contorului poate să fie diferită dacă ordinea de succesiune a fazelor se inversează.

Chiar și în cazul contoarelor la care reglajul sistemelor active este identic, erorile pot fi sensibil diferite cînd ordinea de succesiune a fazelor se schimbă, din cauza influenței reciproce exercitate între diferitele sisteme active. Această influență se datorește interacțiunii fluxurilor magnetice de dispersie ale sistemelor active și curenților induși în discul contorului.

Curenții turbionari induși de unul din sistemele active dau cupluri cu fluxurile active ale altor sisteme, care acționează asupra aceluiași disc. Acest fenomen poate avea loc în cazul contoarelor cu două sisteme active și un singur disc, dar mai ales la contoarele pentru distribuții trifazate cu fir neutru, avînd trei sisteme active realizate constructiv cu două discuri, acestea din urmă fiind foarte întrebuințate (CA-43). Influențe perturbatoare practic nu se manifestă în cazul cînd fiecare sistem activ acționează separat asupra unui disc (cazul contorului trifazat cu trei sisteme active și trei discuri).

Cunoscînd aspectele arătate mai sus, constructorii de aparate aplică diverse soluții de reducere a influențelor nedorite, prin distanțarea sistemelor active, montarea simetrică a acestora față de discul asupra căruia acționează, introducerea de plăci metalice de ecranare etc.

Personalul care exploatează contoarele trifazate trebuie să aibă în vedere efectul influențelor perturbatoare neeliminate integral prin soluții constructive și să ia măsurile necesare ca să se respecte succesiunea fazelor la racordarea bornelor, corespunzător sensului de rotire a discului indicat pe contor.

Integritatea circuitelor de măsură constituie condiția de bază pentru funcționarea normală și — bineînțeles fără erori de înregistrare — a grupului de măsurare. Lipsa continuității unei faze a circuitelor de tensiune (cauzată de arderea siguranței, respectiv de întreruperea conductorului de racordare sau a legăturii din interiorul aparatelor) are ca urmare inactivitatea sistemului activ corespunzător.

Întreruperea accidentală a circuitelor de curent, în afara erorii de măsurare, poate avea consecințe grave asupra integrității instalațiilor (încălzirea inadmisibilă sau chiar arderea transformatoarelor de curent) pe de o parte și apariția la locul de întrerupere a unei tensiuni periculoase, pe de altă parte.

Montajele greșit executate au ca urmare denaturarea indicațiilor contoarelor și astfel aparatele respective dau informații greșite asupra cantităților de energie electrică consumate și implicit asupra factorului de putere. Erorile de măsurare cauzate de conexiuni greșite prezintă importanță deosebită, întrucît ele pot ajunge la valori de ordinul a 200 ... 300 %.

Pentru exemplificare în tabelul 2 se dau valorile erorilor de conexiune pentru cîteva cazuri de montaj greșit, indicîndu-se totodată și coeficienții de corecție respectivi, determinați prin relația:

$$K = \frac{W_r}{W_e}, \qquad (1)$$

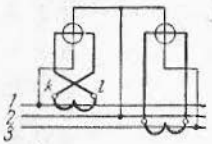
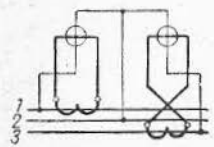
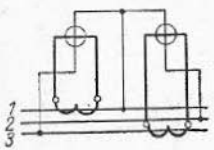
unde: W_r este energia real consumată;

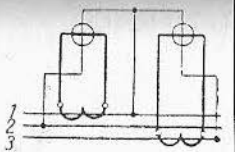
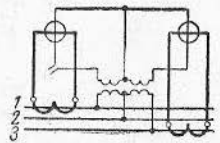
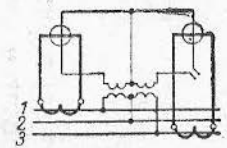
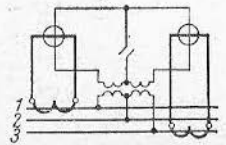
W_e — energia eronat înregistrată.

Din exemplele prezentate în tabelul 2 reiese că, în general, coeficientul de corecție este o funcție de tg φ.

Tabelul 2

Exemple de abateri în circuitele de măsură

Nr. crt.	Eroare de conexiune sau întreruperea ce are loc în montaj	Schema	Efectul fizic al erorii de conexiune	Coeficient de corecție K	Valoarea coeficientului de corecție la cos φ=0,90 (valoare presupusă)
0	1	2	3	4	5
1	Bornele circuitului de curent de pe faza 1 sînt inversate sau greșit marcate din fabricație pe transformatorul de curent		Curentul circulă în sens contrar în primul sistem activ al contorului	$\frac{\sqrt{3}}{\operatorname{tg}\varphi}$	3,6
2	Idem pe faza 3		Idem în al doilea sistem activ al contorului	$-\frac{\sqrt{3}}{\operatorname{tg}\varphi}$	−3,6
3	La borna comună a bobinelor de tensiune este aplicată tensiunea fazei 1, în primul sistem alimentat cu curent prin transformatorul de pe faza 1 s-a introdus tensiunea fazei 3, iar la al doilea sistem este aplicată tensiunea fazei 2.		Necorespondența între curenți și tensiuni conform metodei celor două wattmetre	$-\frac{\text{'2'}}{\sqrt{3}\cdot\operatorname{tg}\varphi+1}$	−1,09

4	Conductoarele care aduc tensiunea de la fazele 1 şi 2 sînt schimbate între ele sau cele de la fazele 2 şi 3 sînt schimbate între ele		Discul contorului aproape staţionează		Nu este posibil să se introducă corecţie
5	Întreruperea conductorului de la transformatorul de tensiune pe faza 1		Inactivitatea primului sistem activ	$\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3}+\operatorname{tg}\varphi}$	1,56
6	Idem pe faza 3		Inactivitatea celui de al doilea sistem activ	$\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3}-\operatorname{tg}\varphi}$	2,76
7	Întreruperea conductorului de tensiune de la faza de referinţă (sau arderea siguranţei fazei 2)		Lipsa tensiunii de la faza de referinţă	2	2

Stabilirea valorii defazajului φ (variabil în timp) pentru recalcularea energiei electrice realmente consumate, în scopul despăgubirii întreprinderii furnizoare de energie electrică sau a consumatorului, se poate face numai admiţînd anumite presupuneri subiective. Chiar şi în situaţia cînd coeficientul K nu depinde de variabila φ, este greu de stabilit momentul cînd s-a produs întreruperea fazei de referinţă.

Problema se poate considera rezolvabilă în mod satisfăcător pentru nevoile practice numai în cazul particular al marilor consumatori, care au instituit evidenţa citirilor orare ale indicaţiilor contorului, din care — după o analiză comparativă a diagramei caracteristice de consum cu procesul de producţie al unităţii respective — se poate identifica ora la care a intervenit eroarea de înregistrare.

Erorile de montare prezintă un interes deosebit, deoarece multe din ele pot rămîne neobservate vreme îndelungată (ani de zile), iar după descoperirea lor recalcularea energiei real consumate, în general, nu se poate face exact.

2. Utilizarea reprezentărilor grafice pentru fundamentarea metodei de verificare

2.1. Reprezentarea vectorială a tensiunilor şi curenţilor în sistemul alternativ trifazat

Avîndu-se în vedere principiul producerii curenţilor alternativi sinusoidali, tensiunile şi curenţii se pot reprezenta geometric prin cîte un vector, formînd două sisteme, care se rotesc în sens trigonometric cu aceeaşi viteză unghiulară.

Această reprezentare prin cele două sisteme de vectori rotitori ($\underline{U}_1$, $\underline{U}_2$, $\underline{U}_3$ şi $\underline{I}_1$, $\underline{I}_2$, $\underline{I}_3$) constituie o imagine intuitivă a mărimilor electrice (fig. 8).

Reprezentarea vectorială pe lîngă imaginea sugestivă a tensiunilor şi curenţilor oferă posibilitatea efectuării opera-

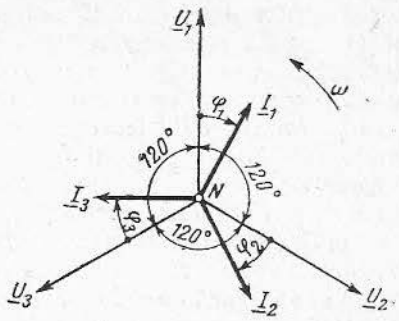
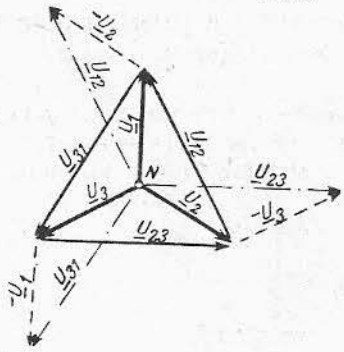


Fig. 8. Reprezentarea vectorială a tensiunilor şi curenţilor de fază.



$$\underline{U}_{12} = \underline{U}_1 - \underline{U}_2 = -\underline{U}_{21}$$
$$\underline{U}_{23} = \underline{U}_2 - \underline{U}_3 = -\underline{U}_{32}$$
$$\underline{U}_{31} = \underline{U}_3 - \underline{U}_1 = -\underline{U}_{13}$$

Fig. 9. Reprezentarea vectorială a tensiunilor de linie.

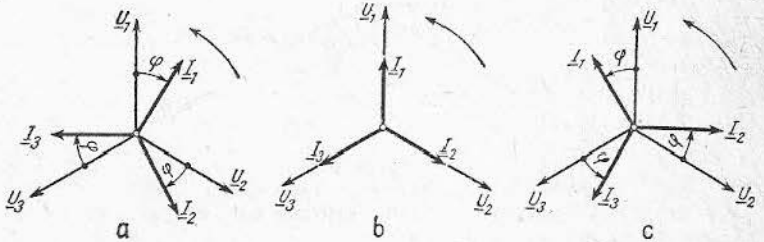


Fig. 10. Defazajul curenţilor faţă de tensiuni în funcţie de caracterul încărcării:

a — inductivă $\varphi > 0$, $0 < \cos\varphi < 1$; *b* — ohmică (sarcină compensată) $\varphi = 0$, $\cos\varphi = 1$; *c* — capacitivă (sarcină supracompensată) $\varphi < 0$, $0 < \cos\varphi < 1$.

țiilor elementare între aceste mărimi prin metode grafice simple, bazate pe regula paralelogramului.

Pentru exemplificare, în fig. 9 s-au construit vectorii tensiunilor de linie sau mai corect spus, tensiunilor între faze $\underline{U}_{12}$, $\underline{U}_{23}$, $\underline{U}_{31}$ definiți ca diferențele geometrice între vectorii tensiunilor de fază $\underline{U}_1$, $\underline{U}_2$ și $\underline{U}_3$.

Imaginea geometrică a tensiunilor și curenților, în toate cazurile practice de funcționare normală a rețelei de alimentare, are o configurație caracteristică. În fig. 10, *a* s-a reprezentat diagrama caracteristică în cazul încărcării inductive. Defazajul se anulează dacă încărcarea devine ohmică (fig. 10, *b*), respectiv ia valoare negativă în cazul încărcării capacitive (fig. 10, *c*).

2.2. Semnificația geometrică a puterii măsurate de contoare trifazate

În rețele trifazate cu conductor de nul pentru măsurarea energiei se utilizează contoare de inducție cu trei sisteme active. Un contor cu trei sisteme active măsoară energia

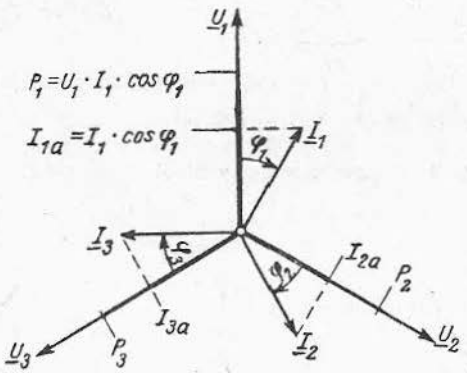


Fig. 11. Reprezentarea grafică a puterii măsurate de echipajele wattmetrice ale contorului cu trei sisteme active.

electrică totală consumată de sistemul trifazat, însă fiecare sistem activ acționează independent asupra discului rotitor, producînd un cuplu motor proporțional numai cu puterea

absorbită pe faza corespunzătoare. Într-adevăr, energia activă măsurată W_a în cazul unei puteri trifazate constante $P^{(3)}$ are expresia

$$W_a = P^{(3)} \cdot t, \tag{2}$$

în care, în cazul general

$$P^{(3)} = P_1 + P_2 + P_3 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 + U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 +$$

$$+ U_3 \cdot I_3 \cdot \cos \varphi_3 = \sum_{i=1}^{3} U_i \cdot I_i \cdot \cos \varphi_i = \sum_{i=1}^{3} U_i \cdot I_{ia}. \tag{3}$$

Cu $I_{ia} = I_i \cdot \cos \varphi_i$ s-a notat proiecția curentului I_i pe direcția tensiunii U_i, reprezentînd componenta activă a curentului. Semnificația geometrică a acestor expresii este ilustrată în fig. 11.

În cazul unui sistem de tensiuni simetrice ($U_1 = U_2 = U_3 = U_f$), avem

$$P^{(3)} = U_f \cdot \sum_{i=1}^{3} I_{ia}, \tag{4}$$

iar în cazul încărcării echilibrate ($I_{1a} = I_{2a} = I_{3a} = I_a$; $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$) relația (4) devine

$$P^{(3)} = 3 \cdot U_f \cdot I_a = 3 \cdot P^{(1)}. \tag{5}$$

Analizînd relația (3) cît și reprezentarea grafică a termenilor sumei, rezultă evident necesitatea corespondenței între tensiunile de fază și curenții corespunzători, pentru ca fiecare element să reprezinte într-adevăr puterea activă efectiv absorbită pe faza respectivă. Este de asemenea obligatorie respectarea polarității curenților la fiecare sistem, deoarece schimbarea bornei de intrare cu cea de ieșire are ca urmare schimbarea sensului cuplului dezvoltat de acel sistem activ. Inversarea polarității înseamnă rotirea vectorului curent cu un unghi de 180° în planul de reprezentare și deci schimbarea semnului proiecției acestuia pe direcția tensiunii aferente; astfel termenul corespunzător din relația

(3) apare cu semn negativ, cu consecințele măsurării eronate care decurge din această greșeală de montare.

În cazul în care curenții au polaritatea schimbată, discul se rotește în sens invers, nefiind garantată bineînțeles în această situație eroarea de înregistrare standardizată a contorului.

Dată fiind independența acțiunii sistemelor active asupra discului și avînd în vedere comutativitatea sumei algebrice din relația (3), la contoare cu trei sisteme active este indiferentă — din punct de vedere teoretic — succesiunea fazelor. Totuși, din considerente arătate la subcap. 1.3 se impune așezarea sistemelor în ordinea secvenței corecte cînd există numai două discuri (cazul cel mai frecvent).

În rețele trifazate fără conductor de nul energia electrică se măsoară cu ajutorul contoarelor avînd două sisteme active, aplicînd schema de montaj a celor două wattmetre. Această metodă se bazează pe faptul că puterea trifazată se poate descompune în două componente, care se însumează algebric pentru a da puterea activă totală, și că fiecare din aceste două componente poate fi măsurată cu ajutorul unui wattmetru monofazat.

Descompunerea puterii în două componente este posibilă datorită îndeplinirii condiției $\underline{I}_1+\underline{I}_2+\underline{I}_3=0$, ceea ce se realizează prin natura montajului (lipsa conductorului de nul), chiar dacă sarcina este nesimetrică.

Puterea activă trifazată care intervine în expresia generală a energiei (2), descompusă în două componente, se prezintă astfel:

$$P^{(3)}=U_{12}\cdot I_1\cdot\cos(\underline{U}_{12}\underline{I}_1)+U_{32}\cdot I_3\cdot\cos(\underline{U}_{32}\underline{I}_3)=$$

$$=U_{12}\cdot I_1\cdot\cos(30°+\varphi_1)+U_{32}\cdot I_3\cdot\cos(30°-\varphi_3)=$$

$$=P_1^{12}+P_3^{32}. \qquad (6)$$

Elementele componente ale puterii trifazate sînt reprezentate geometric în fig. 12.

Se observă din modul de scriere a relației (6) că U_2 a fost aleasă tensiune de referință. Ca prima concluzie se impune deci necesitatea identificării fazei corespunzătoare la bornele contorului. Se observă totodată că încărcarea fazei de refe-

rință (I_2), respectiv întregul termen corespunzător, lipsește din relație; apar însă în cei doi termeni ai formulei, tensiunile compuse U_{12} și U_{32} determinate față de tensiunea de referință U_2.

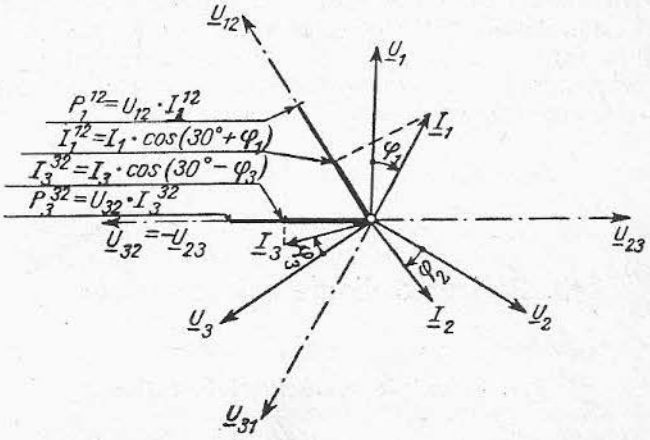


Fig. 12. Reprezentarea grafică a puterii măsurate de echipajele wattmetrice ale contorului cu două sisteme active.

Lipsa termenului corespunzător curentului I_2 permite renunțarea la montarea transformatorului de curent pe faza de referință pentru scopul măsurării puterii, simplificare adoptată cu caracter general în rețelele de distribuție de medie tensiune (acolo unde natura protecției permite aplicarea schemei de legare a două transformatoare de curent în stea incompletă).

Tensiunile de linie U_{12} și U_{32} necesare măsurării puterii se obțin, de regulă, prin utilizarea a două transformatoare de tensiune monofazate legate în V (v. fig. 5), punctul comun de racordare a înfășurărilor, legat la pământ, corespunzînd fazei rămase fără transformator de curent.

Obligativitatea stabilirii exacte la bornele contorului a fazei de referință și necesitatea respectării succesiunii corecte a fazelor (v. subcap. 1.3) duce la concluzia, că modul de legare corectă a firelor de tensiune este unic.

Se precizează că notația adoptată prin grupul de indici 1 ,2, 3 reprezintă oricare din permutările circulare ale fazelor, corespunzătoare succesiunii directe (R—S—T, S—T—R sau T—R—S).

Prin această convenție relația (6) capătă un caracter general, iar indicele 2 corespunde în toate cazurile fazei de referință (a fazei fără transformator de curent, respectiv a fazei cu transformator de curent nefolosit pentru măsură), indiferent de poziția acesteia în circuitele primare.

3. Ridicarea diagramei vectoriale

3.1. Principiul construcției grafice

Metoda de montare, respectiv de verificare a legăturilor contorului, se bazează pe determinarea imaginii caracteristice, în diagrama vectorială, a tensiunilor și curenților de acționare a contorului.

În principiu, cu ajutorul unor date — obținute prin măsurări efectuate la bornele contorului — se construiește diagrama vectorială, care în cazul montajului corect trebuie să coincidă cu imaginea grafică teoretică. Orice abatere specifică față de diagrama caracteristică se poate atribui cu certitudine unei greșeli de montare, greșeală care se poate însă elimina efectuîndu-se modificările de legături necesare la borne.

Schimbările ce trebuie făcute în acest scop se determină, în mod precis, prin interpretarea diagramei vectoriale ridicate, fără a fi nevoie de urmărirea și recunoașterea fir cu fir a circuitelor, respectiv verificarea corectei marcări și utilizări a bornelor transformatoarelor de măsură; operații care implică scoaterea de sub tensiune a instalației.

În afara posibilității de determinare a legării corecte a contorului fără întreruperea circuitelor primare, metoda re-

prezentării grafice oferă o imagine sugestivă asupra încărcării fazelor, respectiv a naturii și mărimii unghiului de defazaj.

Pentru reprezentare grafică se folosește un sistem de coordonate avînd ca axe de referință chiar tensiunile de fază sau tensiunile de linie, în funcție de accesibilitatea lor. Două din coordonate se utilizează pentru construcția grafică propriu-zisă, iar a treia pentru verificare și mărirea preciziei de reprezentare. Ordinea de succesiune a axelor de referință și sensul decalajului „în urmă" corespunde secvenței tensiunilor la bornele contorului.

Coordonatele curenților, mai precis proiecțiile puterilor active pe direcția tensiunilor, se măsoară la bornele contorului cu ajutorul unui wattmetru monofazat. Într-adevăr, puterea măsurată de un wattmetru are expresia

$$P_{ij}=I_i\cdot U_j\cdot\cos\varphi_{ij}=U_j\cdot I_{ij} \qquad (7)$$

în care: U_j este tensiunea la care sînt racordate bornele bobinei voltmetrice;

$I_{ij}=I_i\cdot\cos\varphi_{ij}$ — proiecția curentului care trece prin bobina ampermetrică, pe direcția tensiunii U_j.

Din relația (7) rezultă proiecția, respectiv coordonata curentului

$$I_{ij}=I_i\cdot\cos\varphi_{ij}=\frac{P_{ij}}{U_j}. \qquad (8)$$

Efectuînd măsurarea puterii cu același curent și cu două tensiuni avînd direcții diferite, în baza relației (8) se pot calcula două coordonate care determină în mod univoc vectorul curent $\underline{I}_i$ (v. fig. 13).

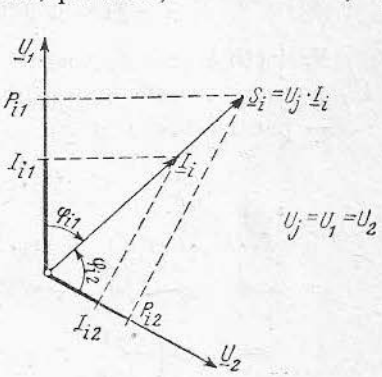


Fig. 13. Principiul construirii vectorului curent cu ajutorul proiecțiilor.

Dacă tensiunile de direcții diferite sînt egale ca mărime (U_j=const), puterile măsurate P_{ij} pot servi drept coordonate pentru construirea unui vector $\underline{S}_i$, coliniar cu vectorul curent $\underline{I}_i$, care are modulul egal cu puterea aparentă fictivă,

definită de relația

$$S_i = \frac{P_{ij}}{\cos \varphi_{ij}}. \tag{9}$$

Bineînțeles, puterile fictive P_{ij} au semnificație fizică reală numai cînd $i=j$, reprezentînd în acest caz puterile active efectiv absorbite pe fazele i ($i=1, 2, 3$).

3.2. Diagrama vectorială la contorul trifazat cu trei sisteme active

În cazul sistemelor trifazate cu conductor neutru, pentru construirea diagramei se folosesc, ca axe de coordonate, vectorii tensiunilor de fază în succesiunea directă.

Să considerăm vectorii puterilor aparente de fază definite prin relația

$$\underline{S}_{ij} = \underline{I}_i \cdot U_j; \text{ pentru } i, j = 1, 2, 3. \tag{10}$$

Proiecțiile acestor vectori pe direcția tensiunilor de fază U_j au următoarele expresii:

— pentru vectorul $\underline{S}_{1j} = \underline{I}_1 \cdot U_j$

$$\left.\begin{aligned}
&P_{11} = I_1 \cdot U_1 \cdot \cos \varphi_1; \\
&P_{12} = I_1 \cdot U_2 \cdot \cos(\widehat{\underline{I}_1 \underline{U}_2}) = I_1 \cdot U_2 \cdot \cos(120° - \varphi_1) = \\
&\quad = -I_1 \cdot U_2 \cdot \cos(60° + \varphi_1) = \\
&\quad = I_1 \cdot U_2 \left(-\frac{1}{2} \cos \varphi_1 + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \varphi_1\right); \\
&P_{13} = I_1 \cdot U_3 \cdot \cos(\widehat{\underline{I}_1 \underline{U}_3}) = I_1 \cdot U_3 \cdot \cos(240° - \varphi_1) = \\
&\quad = -I_1 \cdot U_3 \cdot \cos(60° - \varphi_1) = \\
&\quad = I_1 \cdot U_3 \left(-\frac{1}{2} \cos \varphi_1 - \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \varphi_1\right);
\end{aligned}\right\} \tag{11}$$

— pentru vectorul $\underline{S}_{2j}=\underline{I}_2\cdot U_j$

$$\left.\begin{aligned}
P_{21}&=I_2\cdot U_1\cdot\cos(\widehat{\underline{I}_2\underline{U}_1})=I_2\cdot U_1\cdot\cos(120^\circ+\varphi_2)=\\
&=-I_2\cdot U_1\cdot\cos(60^\circ-\varphi_2)=\\
&=I_2\cdot U_1\left(-\frac{1}{2}\cos\varphi_2-\frac{\sqrt{3}}{2}\sin\varphi_2\right);\\
P_{22}&=I_2\cdot U_2\cdot\cos\varphi_2;\\
P_{23}&=I_2\cdot U_3\cdot\cos(\widehat{\underline{I}_2\underline{U}_3})=I_2\cdot U_3\cdot\cos(120^\circ-\varphi_2)=\\
&=-I_2\cdot U_3\cdot\cos(60^\circ+\varphi_2)=\\
&=I_2\cdot U_3\left(-\frac{1}{2}\cos\varphi_2+\frac{\sqrt{3}}{2}\sin\varphi_2\right);
\end{aligned}\right\}\quad(12)$$

— pentru vectorul $\underline{S}_{3j}=\underline{I}_3\cdot U_j$

$$\left.\begin{aligned}
P_{31}&=I_3\cdot U_1\cdot\cos(\widehat{\underline{I}_3\underline{U}_1})=I_3\cdot U_1\cdot\cos(120^\circ-\varphi_3)=\\
&=-I_3\cdot U_1\cdot\cos(60^\circ+\varphi_3)=\\
&=I_3\cdot U_1\left(-\frac{1}{2}\cos\varphi_3+\frac{\sqrt{3}}{2}\sin\varphi_3\right);\\
P_{32}&=I_3\cdot U_2\cdot\cos(\widehat{\underline{I}_3\underline{U}_2})=I_3\cdot U_2\cdot\cos(120^\circ+\varphi_3)=\\
&=-I_3\cdot U_2\cdot\cos(60^\circ-\varphi_3)=\\
&=I_3\cdot U_2\left(-\frac{1}{2}\cos\varphi_3-\frac{\sqrt{3}}{2}\sin\varphi_3\right);\\
P_{33}&=I_3\cdot U_3\cdot\cos\varphi_3.
\end{aligned}\right\}\quad(13)$$

În cazul sistemului de tensiuni simetrice ($U_1=U_2=U_3=U_f$) relația (10) capătă forma

$$\underline{S}_{ij}=\underline{I}_i\cdot U_f;\ \text{pentru } i=1,\ 2,\ 3,\qquad(14)$$

iar proiecțiile vectorului $\underline{S}_{if}$, măsurate cu wattmetru (după micșorare în raport cu valoarea tensiunii de fază U_f) pot servi drept coordonate pentru construcția grafică a vectorului curent $\underline{I}_i$.

Pentru exemplificare se arată în fig. 14 modul de ridicare a diagramei vectoriale pentru curentul I_1.

Prin adunarea expresiilor din relațiile (11), (12) și (13) se poate deduce că, în cazul simetriei tensiunilor, suma

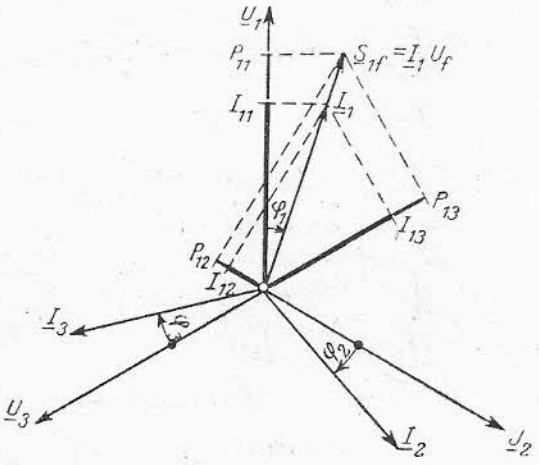


Fig. 14. Construirea vectorului curent prin proiecțiile sale pe tensiunile de fază.

algebrică a celor trei proiecții pentru fiecare vector $\underline{S}_{if}$ este nul, respectiv avem îndeplinită relația

$$\sum_{j=1}^{3} P_{ij}=0; \text{ pentru } i=1,\ 2,\ 3. \tag{15}$$

La încărcare echilibrată ($I_1=I_2=I_3=I$; $\varphi_1=\varphi_2=\varphi_3=\varphi$) rezultă:

$$\begin{aligned} &P_{12}=P_{23}=P_{31};\\ &P_{13}=P_{21}=P_{32};\\ &P_{11}=P_{22}=P_{33}. \end{aligned} \tag{16}$$

Semnul acestor coordonate variază în funcție de factorul de putere după modul arătat în tabelul 3.

Rezultă evident, că în cazul montajului corect coordonatele P_{11}, P_{22}, P_{33} — care de fapt reprezintă puterile efectiv absorbite — vor fi totdeauna pozitive. Proiecțiile P_{12}, P_{23},

Tabelul 3

Variația semnului coordonatelor P_{ij} în funcție de unghiul de defazaj

φ	$-90°$	$-60°$	$-30°$	$0°$	$+30°$	$+60°$	$+90°$
$\cos\varphi$	0	0,5	0,86	1	0,86	0,5	0
$P_{11}=P_{22}=P_{33}$	0	+	+	+ max	+	+	0
$P_{12}=P_{23}=P_{31}$	−	− max	−	−	0	+	+
$P_{13}=P_{21}=P_{32}$	+	+	0	−	−	− max	−

P_{31} sînt negative la factor de putere ridicat ($\cos\varphi > 0{,}86$), respectiv în regim de încărcare capacitivă, obținînd valori pozitive pentru unghi de defazaj inductiv $\varphi > +30°$. Proiecțiile P_{13}, P_{21}, P_{32} sînt negative la sarcină inductivă, devenind pozitive numai la încărcare capacitivă corespunzătoare pentru $\varphi < -30°$.

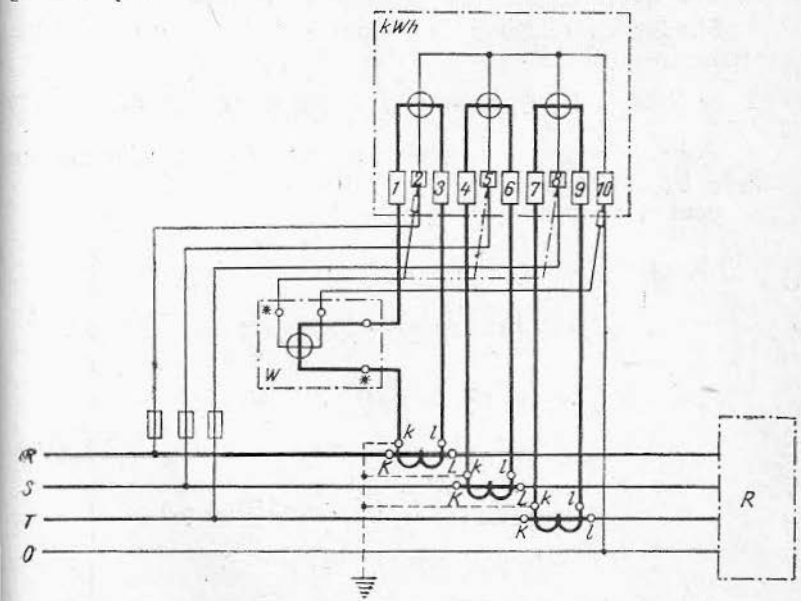


Fig. 15. Schema de legare a wattmetrului pentru ridicarea diagramei vectoriale la contorul trifazat cu trei sisteme active.

În vederea efectuării măsurărilor se va conecta, pe rînd, un wattmetru la bornele fiecărui sistem activ al contorului montat. Astfel de exemplu, pentru determinarea proiecțiilor P_{11}, P_{12} și P_{13} se realizează montajul din fig. 15.

Analizînd rezultatele măsurărilor în lumina concluziilor privind semnul coordonatelor și suma lor geometrică, se poate constata imediat dacă montajul conține sau nu erori de conexiune. În cazul schemei greșite, din imaginea curenților construită din proiecțiile măsurate, vor rezulta modificările necesare corectării legăturilor.

3.3. Diagrama vectorială la contorul trifazat cu două sisteme active

În cazul sistemelor trifazate fără conductor neutru, pentru a se evita necesitatea creării unui nul artificial se utilizează ca axe de referință chiar tensiunile de linie.

Similar cu relația (10) se pot defini vectorii puterilor aparente de linie

$$\underline{S}_i^{jk}=\underline{I}_i\cdot U_{jk};\ \text{pentru } i=1,\ 2,\ 3 \text{ și } jk=12,\ 23,\ 31. \tag{17}$$

Proiecțiile acestor vectori pe direcțiile tensiunilor de linie U_{jk} au următoarele expresii:

pentru vectorul $\underline{S}_1^{jk}=\underline{I}_1\cdot U_{jk}$

$$\left.\begin{aligned}
P_1^{12}&=I_1\cdot U_{12}\cdot\cos(\widehat{\underline{I}_1\underline{U}_{12}})=I_1\cdot U_{12}\cdot\cos(30^\circ+\varphi_1)=\\
&=I_1\cdot U_{12}\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\cos\varphi_1-\frac{1}{2}\sin\varphi_1\right);\\
P_1^{23}&=I_1\cdot U_{23}\cdot\cos(\widehat{\underline{I}_1\underline{U}_{23}})=I_1\cdot U_{23}\cdot\cos(90^\circ-\varphi_1)=\\
&=I_1\cdot U_{23}\cdot\sin\varphi_1;\\
P_1^{31}&=I_1\cdot U_{31}\cdot\cos(\widehat{\underline{I}_1\underline{U}_{31}})=I_1\cdot U_{31}\cdot\cos(150^\circ+\varphi_1)=\\
&=-I_1\cdot U_{31}\cdot\cos(30^\circ-\varphi_1)=\\
&=I_1\cdot U_{31}\left(-\frac{\sqrt{3}}{2}\cos\varphi_1-\frac{1}{2}\sin\varphi_1\right);
\end{aligned}\right\}\tag{18}$$

— pentru vectorul $\underline{S}_2^{jk}=\underline{I}_2 U_{jk}$

$$\left.\begin{aligned}
P_2^{12}&=I_2\cdot U_{12}\cdot\cos(\widehat{\underline{I}_2\underline{U}_{12}})=-I_2\cdot U_{12}\cdot\cos(30^\circ-\varphi_2)=\\
&=I_2\cdot U_{12}\left(-\frac{\sqrt{3}}{2}\cos\varphi_2-\frac{1}{2}\sin\varphi_2\right);\\
P_2^{23}&=I_2\cdot U_{23}\cdot\cos(\widehat{\underline{I}_2\underline{U}_{23}})=I_2\cdot U_{23}\cdot\cos(30^\circ+\varphi_2)=\\
&=I_2\cdot U_{23}\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\cos\varphi_2-\frac{1}{2}\sin\varphi_2\right);\\
P_2^{31}&=I_2\cdot U_{31}\cdot\cos(\widehat{\underline{I}_2\underline{U}_{31}})=I_2\cdot U_{31}\cdot\cos(90^\circ-\varphi_2)=\\
&=I_2\cdot U_{31}\cdot\sin\varphi_2;
\end{aligned}\right\}\quad(19)$$

— pentru vectorul $\underline{S}_3^{jk}=\underline{I}_3\cdot U_{jk}$

$$\left.\begin{aligned}
P_3^{12}&=I_3\cdot U_{12}\cdot\cos(\widehat{\underline{I}_3\underline{U}_{12}})=I_3\cdot U_{12}\cdot\cos(90^\circ-\varphi_3)=\\
&I_3\cdot U_{12}\cdot\sin\varphi_3;\\
P_3^{23}&=I_3\cdot U_{23}\cdot\cos(\widehat{\underline{I}_3\underline{U}_{23}})=-I_3\cdot U_{23}\cos(30^\circ-\varphi_3)=\\
&=I_3\cdot U_{23}\left(-\frac{\sqrt{3}}{2}\cos\varphi_3-\frac{1}{2}\sin\varphi_3\right);\\
P_3^{31}&=I_3\cdot U_{31}\cdot\cos(\widehat{\underline{I}_3\underline{U}_{31}})=I_3\cdot U_{31}\cdot\cos(30^\circ+\varphi_3)=\\
&=I_3\cdot U_{31}\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\cos\varphi_3-\frac{1}{2}\sin\varphi_3\right).
\end{aligned}\right\}\quad(20)$$

În cazul sistemului de tensiuni simetrice ($U_{12}=U_{23}=U_{31}=U$) relația (17) se simplifică astfel:

$$\underline{S}_i=\underline{I}_i\cdot U. \qquad (21)$$

Ridicarea diagramei vectoriale a curenților, utilizînd proiecțiile măsurate ale vectorului S_i, este exemplificată în fig. 16.

Adunînd cele trei proiecții pentru fiecare putere $\underline{S}_i$, rezultă că suma lor algebrică este egală cu zero, adică este satisfăcută condiția

$$P_i^{12}+P_i^{23}+P_i^{31}=0; \text{ pentru } i=1,\ 2,\ 3. \tag{22}$$

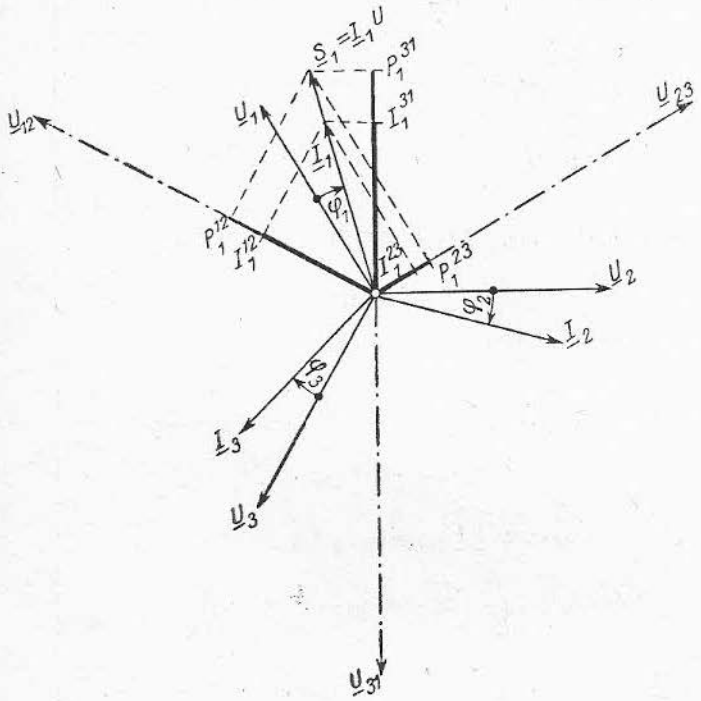


Fig. 16. Construirea vectorului curent prin proiecțiile sale pe tensiunile de linie.

La încărcare echilibrată ($I_1=I_2=I_3=I$ și $\varphi_1=\varphi_2=\varphi_3=\varphi$) sînt satisfăcute următoarele egalități:

$$\begin{aligned} P_1^{12}&=P_2^{23}=P_3^{31};\\ P_1^{23}&=P_2^{31}=P_3^{12};\\ P_1^{31}&=P_3^{23}=P_2^{12}, \end{aligned} \tag{23}$$

Variația semnului acestor coordonate în funcție de factorul de putere rezultă din tabelul 4.

După cum reiese din tabel, în cazul montajului corect proiecțiile P_1^{23}, P_2^{31}, P_3^{12} sînt negative la sarcină capacitivă, respectiv pozitive la sarcină inductivă. Coordonatele P_1^{12}, P_2^{23}, P_3^{31} au valori pozitive, exceptînd cazul regimului inductiv cu factor de putere scăzut ($\cos \varphi < 0{,}5$); iar coordonatele P_1^{31}, P_2^{12}, P_3^{23} au valori negative, în afara situației corespunzătoare pentru încărcare pronunțat capacitivă ($\varphi < -60°$).

Modul de conectare a wattmetrului în schema de montaj a contorului — în vederea măsurării proiecțiilor P_1^{12}, P_1^{23} și P_1^{31} — este arătat în fig. 17.

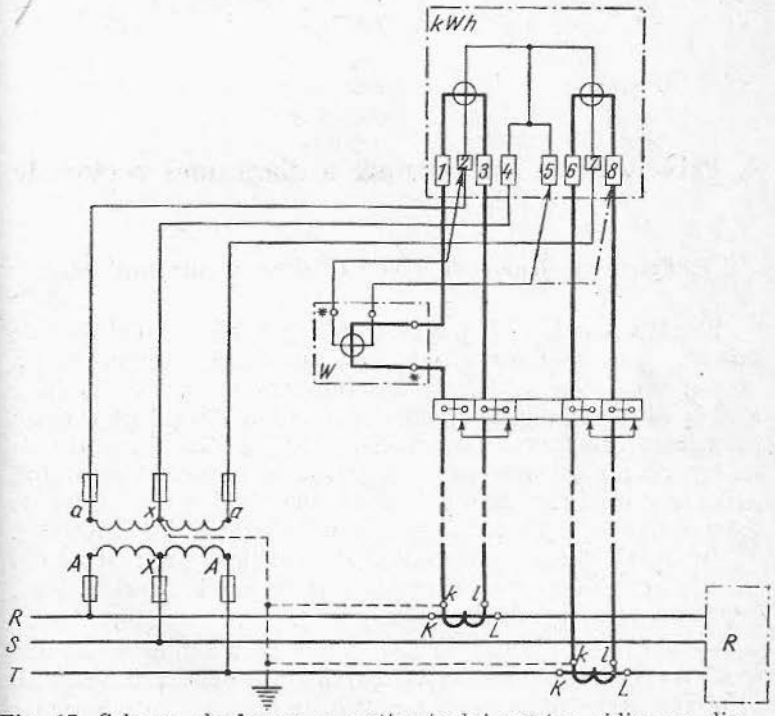


Fig. 17. Schema de legare a wattmetrului pentru ridicarea diagramei vectoriale la contorul trifazat cu două sisteme active.

Tabelul 4

Variația semnului coordonatelor P_i^{jk} în funcție de unghiul de defazaj

φ	$-90°$	$-60°$	$-30°$	$0°$	$+30°$	$+60°$	$+90°$
$\cos\varphi$	0	0,5	0,86	1	0,86	0,5	0
$P_1^{12}=P_2^{23}=P_3^{31}$	+	+	+ max	+	+	0	−
$P_1^{23}=P_2^{31}=P_3^{12}$	− max	−	−	0	+	+	+ max
$P_1^{31}=P_2^{12}=P_3^{23}$	+	0	−	−	− max	−	−

4. Principiul de interpretare a diagramei vectoriale

4.1. Probleme legate de reconstituirea montajului real

Fiecărei combinații posibile ale legăturilor circuitelor de măsură, îi corespunde o imagine geometrică caracteristică a tensiunilor și curenților care acționează asupra echipajelor mobile (discului sau discurilor) contorului. Bazată pe această proprietate diagrama vectorială ridicată, utilizînd rezultatele măsurărilor efectuate cu wattmetrul la bornele contorului, permite reconstituirea schemei de conexiuni a circuitelor de tensiune și de curent conform situației reale din instalație.

În cazul general, procedeul de verificare a montajului cu ajutorul diagramei vectoriale a schemei de conexiuni, cuprinde următoarele faze principale:

— verificarea simetriei sistemului de tensiuni secundare (adoptat ca sistem de referință) cu ajutorul voltmetrului, prin măsurarea celor trei tensiuni între faze, aplicate bornelor contorului;

— determinarea corespondenței fazelor de joasă tensiune cu fazele circuitelor primare, prin scoaterea pe rînd a siguranțelor transformatoarelor de tensiune de pe partea de înaltă tensiune și măsurarea de fiecare dată cu voltmetrul a tensiunilor la bornele contorului (pentru cazul contorului cu două sisteme active în montaj indirect);

— determinarea secvenței sistemului de tensiuni la bornele contorului, cu indicatorul de succesiune a fazelor;

— reconstituirea schemei reale a circuitelor de tensiune;

— construirea diagramei vectoriale a tensiunilor aplicate la bornele contorului;

— determinarea curenților din sistemele active ale contorului prin măsurarea proiecțiilor pe direcția tensiunilor;

— construirea diagramei vectoriale ale curenților;

— reconstituirea schemei de conexiuni reale a circuitelor de curent prin analiza poziției reciproce a vectorilor tensiune și curent;

— eliminarea erorii de conexiune (dacă este cazul) prin corectarea legăturilor la bornele contorului;

— stabilirea coeficientului de corecție pentru recalcularea energiei greșit înregistrate de contor.

Așa cum este arătat la subcap. 1.2, teoretic există o varietate foarte mare de posibilități de legare (greșită) a contoarelor trifazate. Chiar și în cazurile practice de verificare a montajului contoarelor în funcțiune, cînd se pot distinge în circuitele de măsură conductoarele de curent de cele de tensiune, numărul greșelilor de montare posibile este încă ridicat. De asemenea, trebuie avut în vedere faptul că legăturile la pămînt ale circuitelor secundare executate greșit constituie o sursă suplimentară de erori de conexiune, manifestată prin efectul de șuntare a transformatoarelor de curent.

În aceste condiții interpretarea diagramei vectoriale în cazuri mai complexe este deosebit de dificilă și chiar în ipoteza calificării superioare a verificatorului nu exclude necesitatea unor operații de tatonare de lungă durată.

4.2. Simplificarea procedeului de interpretare

Pentru a reduce probabilitatea greșelilor, respectiv a ușura interpretarea diagramei, este indicat să se micșoreze numărul de legături posibile, fără a face însă întreruperi de tensiune

la fiecare fază pentru identificarea fir cu fir a conductoarelor. În acest scop se recurge la eliminarea variantelor determinate de posibilitățile de legare greșită a circuitelor de tensiune, prin stabilirea provenienței și corectarea poziției fazelor la bornele corespunzătoare ale contorului, înaintea ridicării diagramei vectoriale a curenților.

Adoptarea acestei simplificări are la bază următoarele considerente:

— reconstituirea exactă a schemei greșite în vederea stabilirii unui coeficient de corecție nu este oportună, deoarece nu putem avea încredere în gradul de precizie al acestui coeficient, care este funcție a defazajului φ variabil în timp (în unele cazuri acest coeficient nici nu poate fi stabilit); scopul urmărit este realizarea montajului corect al contorului din momentul punerii în funcțiune a instalației sau imediat după unele modificări în conexiunile primare sau secundare în decursul exploatării;

— identificarea circuitelor de tensiune în vederea corectării legăturilor, se poate realiza utilizînd procedee simple, fără a fi necesară întreruperea alimentării cu energie electrică.

Prin stabilirea succesiunii corecte a tensiunilor la bornele contorului, numărul de cazuri de legări posibile se reduce de două ori; iar dacă se face și identificarea celor trei fire de tensiune, prin corectarea poziției acestora la bornele contorului, variantele de legări posibile se reduc cu șase ori, greșelile de montaj localizîndu-se exclusiv în circuitele de curent.

În mod concret — așa cum rezultă din tabelul 1 — prin această măsură numărul de montaje posibile (determinate numai de inversările de legătură la bornele contorului) se reduce de la 4 320 la 720 în cazul contoarelor cu trei sisteme active, respectiv de la 144 la 24 în cazul contoarelor cu două sisteme active.

4.3. Corelația între diagramele caracteristice și schemele de conexiuni ale circuitelor de curent

Prin identificarea și corectarea poziției circuitelor de tensiune la bornele contorului, înaintea începerii măsurărilor cu wattmetru, numărul diagramelor caracteristice care rămîne

de interpretat se reduce la variantele de legare posibile ale circuitelor de curent.

Cu simplificările de mai sus interpretarea diagramei vectoriale se rezumă în esență la rezolvarea următoarelor probleme:

— determinarea combinației geometrice a curenților secundari care dau ca rezultantă curentul din fiecare sistem activ al contorului;

— reconstituirea schemei circuitelor secundare de curent, prin găsirea acelor legături între contor și transformatoarele de curent, care determină circulația curentului rezultant prin sistemele active ale contorului, conform combinației identificate.

Întrucît, la contoare cu trei sisteme active rezolvarea problemei nu prezintă dificultate (v. subcap. 5.1), în cele ce urmează se tratează numai aspectele specifice contoarelor cu două sisteme active.

Din natura montajului, bazată pe metoda celor două wattmetre, rezultă că prin unul din sistemele active ale

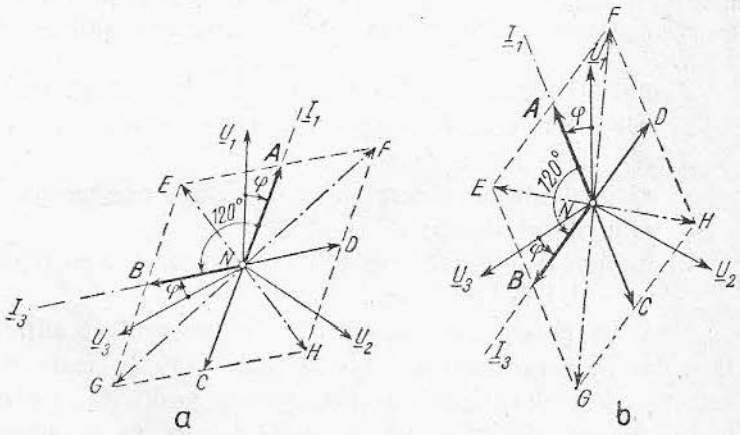


Fig. 18. Pozițiile posibile ale vectorului curentului de acționare la contorul cu două sisteme:
a — încărcare inductivă, $\varphi > 0$; *b* — încărcare capacitivă, $\varphi < 0$.

contorului poate circula numai unul din curenții de fază I_1, I_3, inverșii acestora, sau o combinație geometrică a acestora.

Pentru explicitare, în fig. 18 se prezintă cele opt poziții pe care le poate ocupa în diagramă vectorul curentului din unul din sistemele active ale contorului pentru cazurile de încărcare inductivă respectiv capacitivă.

Pentru determinarea combinației căutate se compară imaginea geometrică a curenților I_{I} și I_{III} din sistemele active ale contorului (obținută din proiecțiile măsurate cu wattmetru), cu direcția vectorilor curenților de fază secundari I_1 și I_3 (dreptele AN și BN din fig. 18).

4.4. Influența modului de legare la pămînt a transformatoarelor de curent

La reconstituirea schemei de conexiuni a circuitelor de curent este necesar a se avea în vedere și influența legării la pămînt de protecție a secundarelor transformatoarelor de curent. În cazurile în care cele două circuite de curent nu sînt independente, iar puntea de legare la pămînt a transformatoarelor devine parte activă a circuitelor de lucru prin montajul greșit, circulația curenților se modifică în mod esențial, interpretarea diagramei devenind susceptibilă de erori.

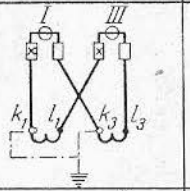
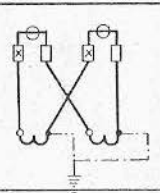
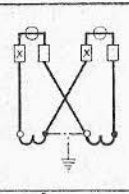
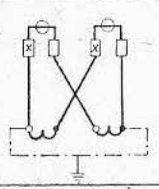
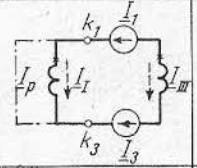
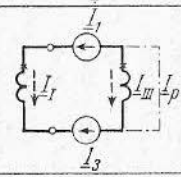
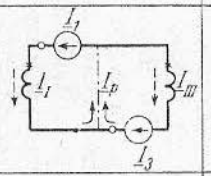
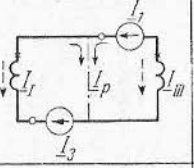
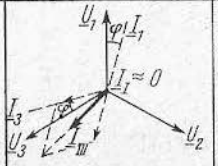
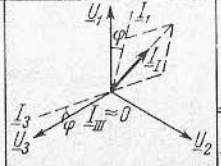
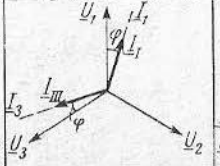
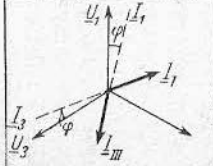
Puntea de legare la pămînt poate stabili legătură între:

a) cele două borne de început ale înfășurărilor secundare;
b) cele două borne de sfîrșit;
c) sfîrșitul înfășurării primului transformator cu începutul celui de al doilea;
d) începutul înfășurării primului transformator cu sfîrșitul celui de al doilea.

Dacă nu putem avea încredere în consecvența realizării în instalație a unui anumit tip de punte sau în marcarea corectă a bornelor, trebuie să presupunem posibilitatea existenței oricăreia din cele patru variante de mai sus. Problema prezintă importanță în cazul schemei de conexiuni ale circuitelor de curent realizate cu patru fire, la care puntea de

Tabelul 5

Exemplificarea efectului de șuntare a legăturii de pământare a transformatoarelor de curent

Tipul punții de legare la pământ	a	b	c	d	Observații
Schema de legături a circuitelor de curent					×–Borna de intrare a bobinei de curent a contorului ○–Borna de început a transformatorului de curent
Schema echivalentă					
Relații între curenți	$\underline{I}_I \approx 0$ $\underline{I}_{III} = \lambda(-\underline{I}_1 + \underline{I}_3) \approx \underline{I}_p$	$\underline{I}_I = \lambda(\underline{I}_1 - \underline{I}_3) \approx \underline{I}_p$ $\underline{I}_{III} \approx 0$	$\underline{I}_I = \underline{I}_1$; $\underline{I}_{III} = \underline{I}_3$ $\underline{I}_p = \underline{I}_1 + \underline{I}_3$	$\underline{I}_I = -\underline{I}_3$; $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1$ $\underline{I}_p = -\underline{I}_1 - \underline{I}_3$	$\underline{I}_I$ ÷ $\underline{I}_{III}$ – Curenții din bobinele sistemelor active $\underline{I}_p$ Curentul prin punte
Diagrama vectorială					φ – Inductiv

legare la pămînt în situaţia normală (a celor două circuite independente) nu trebuie să fie parcursă de curenţi de lucru.

Pentru evidenţierea efectului perturbator a legăturii la pămînt a transformatoarelor de curent în tabelul 5 este prezentat un exemplu de montaj greşit prin care se explicitează modul în care puntea de legare la pămînt influenţează circulaţia curenţilor în sistemele active ale contorului precum şi diagrama vectorială.

Se observă că la schemele *a* şi *b* unul din sistemele active ale contorului este şuntat prin legătura de punte, curentul respectiv fiind practic nul. Curentul prin celălalt sistem activ este determinat de parametrii circuitului compus în care rolul hotărîtor îl are impedanţa echivalentă a celor două transformatoare de curent legate în serie respectiv în opoziţie. Coeficientul subunitar λ ţine cont de creşterea sarcinii secundare, datorită însumării impedanţelor. Depăşirea sarcinii nominale determină un regim anormal de funcţionare a transformatoarelor de curent, manifestat prin slăbirea efectului demagnetizant al tensiunii magnetomotoare secundare şi creşterea corespunzătoare a fluxului. Din cauza fluxului mărit se încălzeşte miezul şi creşte substanţial t.e.m. secundară, fără ca aceste efecte să atingă amploarea fenomenelor similare care apar în cazul mersului în gol.

La schemele *c* şi *d* deşi nu apar asemenea fenomene nedorite, puntea de legare la pămînt are efect mai derutant, în sensul că la prima vedere s-ar părea că circuitele de curent sînt independente. În realitate această punte constituie o ramură comună de închidere a curenţilor de acţionare din cele două circuite, lucru care însă nu poate fi dedus prin simpla analiză a diagramei vectoriale.

În cazul schemei de conexiuni a circuitelor de curent realizate cu trei fire puntea de legare la pămînt reprezintă de fapt legătura funcţională între cele două transformatoare de curent, deci nu constituie un element suplimentar de reconstituit. Din acest motiv la montaje cu trei fire există o corelaţie bine determinată între diagrama caracteristică şi schema de conexiuni a circuitelor de curent, nemanifestîndu-se efect de şuntare perturbator.

5. Reconstituirea și corectarea circuitelor de măsură

5.1. Corectarea schemei de conexiuni a circuitelor de tensiune

La contoare cu trei sisteme active montajul fiind simplu, iar contorul fiind montat de regulă în apropierea transformatoarelor de curent, în cazurile uzuale, identificarea circuitelor de tensiune nu reprezintă o problemă deosebită. Mai mult decît atît, de cele mai multe ori se poate stabili prin urmărirea vizuală a conductoarelor, respectiv cu ajutorul voltmetrului, corespondența firelor de tensiune cu circuitele de curent ale sistemelor active aferente, situație în care numărul de legături posibile se reduce la cele opt cazuri corespunzătoare variantelor de inversare a curenților în sistemele active ale contorului. Din acest motiv corecturile ce se pot aduce legăturilor circuitelor de tensiune, pe parcursul verificării montajului, facilitează foarte mult interpretarea diagramei vectoriale.

La contoare cu două sisteme active în montaj indirect, nu se poate stabili proveniența conductoarelor circuitelor fără scoaterea de sub tensiune a instalației primare; pe de altă parte, identificarea vizuală fir cu fir este împiedicată de complexitatea circuitelor secundare, respectiv de amplasarea în locuri (încăperi sau celule) diferite a contoarelor și transformatoarelor de măsură.

Pentru a putea corecta conexiunile circuitelor de tensiune în vederea reducerii variantelor de montaj posibile, se prezintă mai jos un procedeu simplu de identificare a circuitelor de tensiune prin măsurări efectuate cu voltmetrul la bornele contorului.

Se creează o asimetrie a tensiunilor secundare prin scoaterea siguranței primare a fazei de referință. Cu această modificare punctul comun al înfășurărilor secundare (corespunzător fazei fără transformator de curent) devine punctul median al unui divizor de tensiune, așa cum este exemplificat acest lucru în fig. 19, în cazul montajului în V a două transformatoare de tensiune monofazate.

Borna, față de care ambele tensiuni de linie rezultă egale cu $\frac{U}{2}$ =50 V, în loc de 100 V, corespunde fazei de referință. Se menționează că rezultatul este similar și în cazul tensiunilor obținute de la un transformator trifazat.

Identificarea celorlalte două faze se face fără intervenții în instalațiile primare, cu ajutorul indicatorului de succesiune,

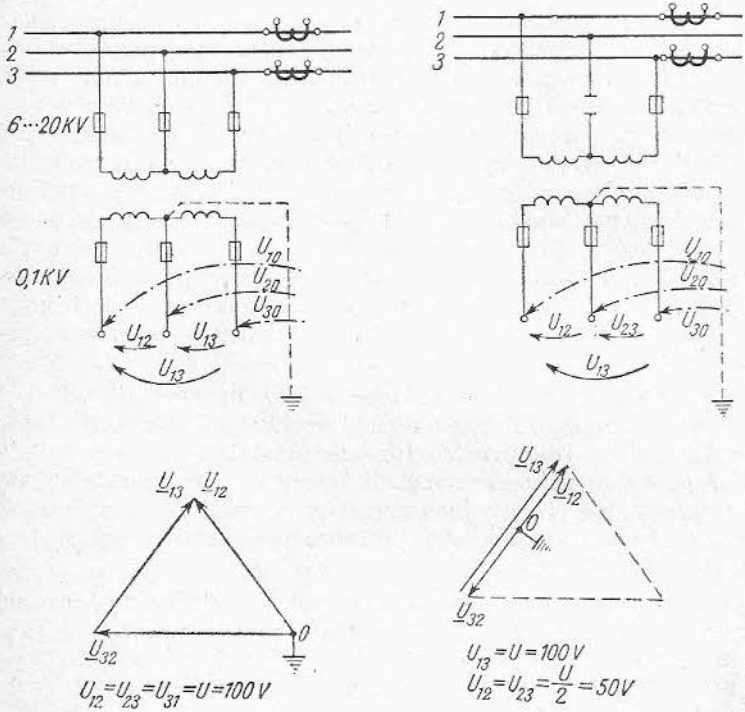


Fig. 19. Principiul identificării fazei de referință la bornele contorului racordat prin transformatoare de tensiune.

făcînd inversările necesare între ele la bornele contorului pentru asigurarea succesiunii corecte.

În situația în care instalația de legare la pămînt de protecție a circuitelor secundare este ușor accesibilă de la locul

de montare al contorului, în principiu se poate renunța la manevrele necesare în celula de măsură, identificarea fazei de referință putîndu-se efectua prin verificarea îndeplinirii relațiilor:

$$U_{10}=U_{30}=U=100\ V;$$
$$U_{20}=0. \qquad (22)$$

19 AUG 1985

Faza de referință astfel identificată trebuie să fie aplicată la borna comună a celor două bobine de tensiune ale contorului.

Această simplificare presupune însă că avem certitudine asupra marcării corecte a bornelor transformatoarelor de tensiune și asupra corespondenței între punctul comun al înfășurărilor secundare legate la pămînt și faza fără transformator de curent.

5.2. Identificarea și corectarea legăturilor circuitelor de curent

5.2.1. *Reconstituirea pas cu pas a circuitelor*

Reconstituirea schemei de conexiuni a circuitelor de curent presupune identificarea prealabilă a curenților din sistemele active ale contorului prin interpretarea diagramei vectoriale (v. cap. 6.).

Odată identificată combinația vectorială a curenților de acționare, legăturile ascunse ale schemei se pot reconstitui analizînd circulația și extrapolînd căile de închidere a curenților de fază secundari.

Pentru stabilirea unor reguli generale de urmat, se au în vedere următoarele convenții de sens:

— curentul de fază secundar iese din borna de început și intră în borna de sfîrșit a transformatorului de curent (fig. 20, *a*);

— semnul pozitiv atribuit unui curent de fază (respectiv lipsa semnului) are semnificația că acel curent intră pe la borna de intrare, respectiv iese din borna de ieșire a bobinei de curent a contorului (fig. 20, *b*);

— semnul negativ atribuit unui curent de fază înseamnă că acel curent intră pe la borna de ieșire, respectiv iese din borna de intrare a bobinei de curent a contorului (fig. 20, *c*).

19 AUG 1985

În cazul schemei de montaj cu patru fire, aplicarea unei metode deductive de reconstituire a schemei duce la nedeterminare, care se elimină numai în cazul cunoașterii modului de legare a punții de pământare. Cum însă în cazurile practice

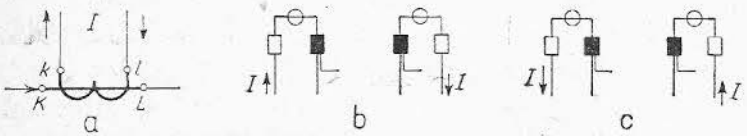


Fig. 20. Convenții de sens pentru evidențierea circulației curenților de fază:
a — sensul real al curenților de fază; *b* — sensul atribuit curentului de fază pozitiv ($\underline{I}$); *c* — sensul atribuit curentului de fază negativ ($-\underline{I}$).

legătura de punte reprezintă element necunoscut, de regulă nu se poate stabili direct din analiza circulației curenților schema de conexiuni reală din instalație. Pentru aceste tipuri de scheme reconstituirea comportă mai multe etape intermediare de corectare, folosind tabele de interpretare conform celor prezentate în paragraful 5.2.2.

La schema de montaj cu trei fire reconstituirea căilor de închidere a circuitelor permite identificare în mod univoc a legăturilor ascunse. Pentru evitarea tatonărilor se recomandă urmărirea fazelor de operații indicate mai jos.

a. Se reprezintă schematic situația legăturilor la bornele contorului.

b. Se identifică curenții prin firele de legătură la bornele contorului. În acest scop se indică pentru început circulația curenților de fază în cele două conductoare provenite de la transformatoarele de curent, conductoare racordate la bornele necomune cu puntea de pământare, ținînd cont de semnul componentelor curenților din sistemele active. Din cele de mai sus rezultă direct circulația curentului în puntea de legătură.

În continuare, analizînd repartiția curenților la borna care constituie nodul de ramificație, se deduce curentul prin firul de legătură racordată la puntea contorului.

c. Se unesc în schemă legăturile prin care circulă curenți individuali de fază cu bornele corespunzătoare ale transformatoarelor de curent, ținînd cont de convenția de sens.

d. Se reconstituie puntea de pămîntare prin legarea între ele a celor două borne libere ale transformatoarelor de curent și se stabilește legătura între una din aceste borne și borna contorului prin care circulă combinația de curent.

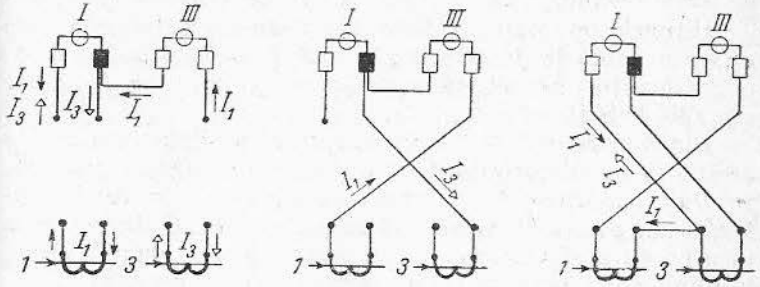


Fig. 21. Exemplu de reconstituire pas cu pas a circuitelor de curent la o schemă de conexiuni cu trei fire.

Pentru exemplificarea acestei reguli în fig. 21 se prezintă succesiunea principalelor faze de reconstituire pentru cazul curenților din sistemele active ale contoarelor

$$\underline{I}_{\mathrm{I}}=-\underline{I}_1+\underline{I}_3 \text{ și } \underline{I}_{\mathrm{III}}=-\underline{I}_1.$$

5.2.2. *Utilizarea tabelelor de interpretare*

Pentru călăuzirea verificatorului în găsirea ușoară și corectarea schemei de conexiuni în baza diagramei vectoriale, s-au întocmit tabelele de interpretare redate în anexele 1 și 2, care cuprind toate variantele de legare ale circuitelor de curent. În linia AB (în chenar îngroșat) sînt evidențiate diagrama vectorială și montajele corecte, la care trebuie să ajungă verificatorul prin schimbări corespunzătoare ale legăturilor.

Se menționează că tabelele de interpretare au valabilitate generală indiferent de natura și mărimea defazajului. Spre a conferi diagramelor un caracter cît mai intuitiv, cuplul caracteristic al vectorilor $\underline{I}_{\mathrm{I}}$ și $\underline{I}_{\mathrm{III}}$ s-a reprezentat în raport cu steaua tensiunilor de fază, făcînd exemplificarea corespunzătoare pentru o încărcare inductivă (cazul cel mai frecvent întîlnit în practică).

În anexa 1 este prezentat tabelul de interpretare pentru cazul montajului circuitelor de curent cu patru fire.

În primele opt linii se regăsesc situațiile în care prin fiecare sistem activ al contorului acționează cîte un curent de fază secundar, în diverse cazuri de polaritate.

Ultimele opt linii din tabel corespund situațiilor în care una din bobinele de curent ale contorului este parcursă de o combinație geometrică a celor doi curenți de fază, iar cealaltă bobină este șuntată.

Din analiza schemelor de conexiuni posibile cuprinse în acest tabel se desprind cîteva concluzii de utilitate practică.

Dacă circuitele de curent sînt separate, nu are importanță din punct de vedere al măsurării modul de legare la pămînt a transformatoarelor de curent, puntea de pămîntare neavînd efect perturbator asupra circulației curenților.

Faptul că imaginile curenților din sistemele active se suprapun numai cu vectorii $\underline{I}_1$, $\underline{I}_3$, $-\underline{I}_1$ și $-\underline{I}_3$ (pozițiile *A*, *B*, *C*, *D* din fig. 18) nu înseamnă neapărat că circuitele de curent ale celor două transformatoare de curent sînt independente.

În cazul în care curenții din sistemele active se prezintă sub forma combinațiilor geometrice $\lambda \cdot (\underline{I}_1 + \underline{I}_3)$, $\lambda \cdot (\underline{I}_1 - \underline{I}_3)$, $\lambda \cdot (-\underline{I}_1 + \underline{I}_3)$ și $\lambda \cdot (-\underline{I}_1 - \underline{I}_3)$ (pozițiile *E*, *F*, *G*, *H* din fig. 18), există certitudinea că circuitele nu sînt separate, transformatoarele de curent fiind legate în serie sau în opoziție prin contor. În aceste situații, pentru corectarea montajului este necesară în prima fază separarea celor două circuite de curent.

Datorită faptului că nu putem identifica (fără întrerupere de tensiune) modul de legare la pămînt a transformatoarelor de curent și de regulă nu cunoaștem de la început dacă circuitele sînt sau nu independente, imaginea vectorială obținută nu determină în mod univoc schema de montaj reală. Această determinare însă nici nu este necesară pentru corectarea montajului din punct de vedere al măsurării, deoarece variantele de scheme corespunzătoare aceleiași imagini vectoriale (cuprinse în aceeași linie) au proprietatea comună, că prin aceeași modificare de corectare a legăturilor, în toate cazurile obținem ca rezultat o variantă de schemă din prima linie.

Or, toate cele cinci variante de scheme din linia *AB*, agsiură circulația curenților corespunzător unei înregistrări

corecte a energiei electrice, curentul I_1 acționînd în sistemul activ I, respectiv curentul I_3 în sistemul activ III al contorului.

Pentru exemplificarea procedeului de corectare a montajului eronat să presupunem că prin diagrama ridicată am identificat imaginea caracteristică a cuplului de vectori $\underline{I}_{\text{I}}$ și $\underline{I}_{\text{III}}$, aceasta corespunzînd liniei BC ($\underline{I}_{\text{I}}=\underline{I}_3$; $\underline{I}_{\text{III}}=-\underline{I}_1$).

Prin compararea oricărei scheme din linia BC cu corespondenta ei din linia AB situată pe aceeași coloană cu ea, rezultă că pentru corectarea montajului trebuie făcute următoarele schimbări de legătură:

— inversarea legăturilor la bobina de curent a sistemului activ III;

— schimbarea între ele a legăturilor la bobinele de curent a celor două sisteme active.

Prin examinarea tuturor celor cinci scheme din linia identificată se constată, că — indiferent de modul de realizare a punții de pămîntare — prin aceste schimbări de legătură se ajunge într-adevăr în toate cazurile direct la schema aferentă din linia AB.

Din punct de vedere practic trebuie avut în vedere faptul că circulația corectă a curenților prin contor în cazul montajelor 9 a, 9 b, 9 c și 9 d presupune o continuitate perfectă a legăturilor punții de pămîntare. O eventuală slăbire a unui contact micșorează efectul de șuntare, ceea ce are ca urmare creșterea necontrolată a erorii de înregistrare, iar întreruperea totală a legăturii între transformatoarele de curent constituie o eroare evidentă de montaj. În acest ultim caz curenții de acționare corespund următoarelor combinații vectoriale:

Cazul	Curenții de acționare
9 a și 9 b	$\underline{I}_{\text{I}}=\underline{I}_{\text{III}}=\lambda(\underline{I}_1+\underline{I}_3)$;
9 c și 9 d	$\underline{I}_{\text{I}}=\lambda(\underline{I}_1-\underline{I}_3)$; $\underline{I}_{\text{III}}=\lambda(-\underline{I}_1+\underline{I}_3)$.

Pentru eliminarea dependenței corectei înregistrări a contorului de perfecțiunea legăturii punții, este indicat să se continue corectarea schemei pînă la separarea completă a circuitelor de curent corespunzător schemei normale din căsuța 1. În acest scop se indică mai jos procedeul care ne

duce la rezultatul urmărit prin numărul minim de etape de corectare intermediare. Ne folosim de tabelul 6 care stabileşte corelaţia între oricare schemă reală dintr-o anumită linie şi

Tabelul 6

Corelaţia dintre schemele folosite pentru separarea circuitelor de curent cu patru fire

Schema presupusă / Schema reală	Variantele de scheme ce se obţin prin efectuarea modificărilor de corectare corespunzătoare schemei presupuse				Observaţii
	ma	mb	mc	md	
n	ma	mb	mc	md	S-a notat cu: *n* nr. schemei cu circuite separate din anexa 1 (n=1,2 ... ... 8) *m* — nr. schemei combinate din primele opt linii (m=9,10 ... 16)
ma	n	5	24 a	18 a	
mb	5	n	18 b	24 b	
mc	21 c	17 c	n	8	
md	17 d	21 d	8	n	

variantele de scheme la care se ajunge prin modificări de corectare corespunzătoare schemelor diferite de cea reală.

Perfectarea definitivă a montajului cu ajutorul tabelului 6 se bazează pe următorul principiu. Dacă se efectuează o corectare şi separare a circuitelor (în baza comparării cu fig. 1 din linia AB) corespunzătoare unei scheme presupuse, diferite de cea reală, se ajunge — ca etapă intermediară — la o schemă eronată identificabilă, de la care prin modificarea corespunzătoare a conexiunii se obţine direct montajul urmărit.

Dacă se efectuează o corectare de legături corespunzătoare unei scheme presupuse, care coincide cu cea reală, se obţine ca rezultat aceeaşi diagramă caracteristică, din care se deduce că schema obţinută este fie cea presupusă iniţial, fie schema separată din linia respectivă, celelalte trei variante fiind excluse. Pentru eliminarea nedeterminării, în continuare se procedează la următoarea fază de perfectare, aceasta constînd din efectuarea unei modificări de legături corespunzătoare

corectării uneia din schemele excluse. Prin această operație se ajunge la ultima etapă intermediară care permite corectarea dorită conform procedeului descris anterior.

Din cele de mai sus rezultă indicația utilă din punct de vedere practic, de a se efectua în prima fază în mod intenționat modificări de corectare a legăturilor corespunzătoare pentru o schemă diferită de cea probabilă, obținîndu-se astfel rezolvarea pe calea cea mai scurtă. (În acest sens se pot considera cele mai rar întîlnite în practică schemele „mc" și „md" la care puntea de pămîntare este realizată între începutul înfășurării secundare ale unui transformator de curent și sfîrșitul celuilalt).

Pentru exemplificare să considerăm că situația reală din instalație corespunde schemei de conexiuni 9 a ($n=1$; $m=9$).

În prima fază facem o modificare de corectare a legăturilor corespunzătoare schemei 9 c. Prin ridicarea diagramei constatăm că situația modificată corespunde imaginii caracteristice liniei NG din anexa 1, care comparată cu coloana „mc" din tabelul 6, permite identificarea schemei realizate 24 a; singura variantă care se regăsește în linia și coloana menționate ale celor două tabele. Procedînd la înlăturarea erorilor de conexiune evidențiate în această schemă, se obține direct montajul corect urmărit, corespunzător variantei 1.

Dacă presupunerea ar coincide cu schema reală existentă 9 a, efectuînd modificările de corectare necesare, s-ar obține aceeași diagramă vectorială caracteristică liniei AB. Acest lucru ne indică faptul că schema inițială, respectiv și cea obținută este fie schema 1, fie schema 9 a, fiind excluse variantele 9 b, 9 c și 9 d. Pentru identificarea schemei în vederea separării circuitelor de curent, pasul următor este efectuarea modificării de corectare corespunzătoare uneia din variantele de scheme excluse, de exemplu 9 b. Ridicînd diagrama vectorială în noua situație, constatăm că imaginea obținută corespunde diagramei caracteristice liniei BA din anexa 1. Comparînd indicativele schemelor aferente cu cele cuprinse în coloana „mb" din tabelul 6, se identifică schema realizată, ca fiind cea cu nr. 5, de la care se poate ajunge la montajul perfect (cu circuite independente).

Se menționează că prin utilizarea tabelului 6 separarea circuitelor se poate realiza eliminînd etapa trecerii prin tipul de schemă intermediară, corespunzătoare liniei AB.

În anexa 2 este prezentat tabelul de interpretare pentru cazul montajului circuitelor de curent cu trei fire, corespunzînd schemei de legare în stea incompletă a celor două transformatoare de curent.

La constituirea acestui tabel, în afara rolului punții de pămîntare (care la acest tip de montaj în mod normal face parte activă din circuitele curenților de lucru), s-au avut în vedere și posibilitățile de realizare a punții de legătură la bornele contorului. Poziția acesteia din urmă fiind ușor de determinat prin observare vizuală, s-a folosit drept criteriu de clasificare a schemelor de montaj (vezi coloanele 1, 2, 3, 4, corespunzătoare celor patru posibilități de montare a punții).

În primele opt linii sînt grupate cazurile în care prin fiecare sistem activ al contorului trece cîte un curent de fază secundar, în diverse situații de polaritate; pentru fiecare diagramă caracteristică existînd cîte o schemă bine determinată în toate cele patru variante de realizare a punții la bornele contorului.

Celelalte linii ale tabelului corespund situațiilor în care unul din sistemele active este acționat de un curent de fază secundar de o anumită polaritate, iar celelalte de o combinație geometrică ale celor doi curenți de fază secundari.

În cazul a 16 linii (de la *AH* la *GD*) există variante de scheme numai pentru primele două moduri de realizare a punții la contor (coloanele 1 și 2). Aceste scheme sînt caracterizate prin proprietatea comună, potrivit căreia curentul de fază care parcurge singur bobina de curent a unui sistem activ se regăsește cu polaritatea inversă și în bobina de curent a celui de al doilea sistem activ, în combinație geometrică cu celălalt curent de fază.

În ultimele 16 linii sînt grupate variantele de scheme ce se pot întîlni numai în cazul montării punții de legătură la contor corespunzătoare coloanelor 3 și 4. Aceste scheme au de asemenea proprietatea comună, similară grupului de scheme din cele 16 linii anterioare, cu deosebirea că unul din curenții de fază, care parcurge ambele bobine de curent ale contorului, își păstrează polaritatea.

Cunoscîndu-se de la început poziția de montare a punții de legătură la bornele contorului, diagrama caracteristică

a curenților din bobinele de curent ale sistemelor active determină în mod univoc schema de conexiuni a ansamblului circuitelor de curent, implicit și modul de legare la pămînt a secundarelor transformatoarelor de măsură. Această corelație reprezintă proprietatea de bază a tabelului, ca instrument de interpretare a diagramei obținute prin măsurări.

Să presupunem, de exemplu, că în urma analizei vectorilor curenților de acționare, reprezentați grafic în ansamblul lor, am identificat imaginea caracteristică corespunzătoare liniei *ED*.

Cunoscînd de la început poziția de montare a punții la contor (de exemplu corespunzător pentru coloana 1) găsim imediat schema de montaj reală la întretăierea liniei *ED* cu coloana 1. Din schema găsită observăm că puntea de pămîntare stabilește legătura între cele două borne de sfîrșit ale înfășurărilor secundare ale transformatoarelor de curent. Compararea făcută cu schemele cuprinse în linia *AB*, ne duce la concluzia că în situația dată, montajul corect corespunde schemei situate la întretăierea coloanei 2 cu prima linie. Pentru eliminarea greșelii de montaj rezultă deci necesară efectuarea următoarelor schimbări de legătură:

— mutarea punții între bornele de ieșire ale bobinelor de curent ale contorului;

— trecerea legăturii de la borna de ieșire la borna de intrare a bobinei de curent a celui de al doilea sistem activ al contorului.

6. Identificarea curenților din sistemele active ale contorului

6.1. Cazul unghiului de defazaj cunoscut

După ridicarea diagramei vectoriale a curenților din bobinele de curent ale sistemelor active ale contorului (I_{I} și I_{III}), se pune problema identificării combinațiilor curenților

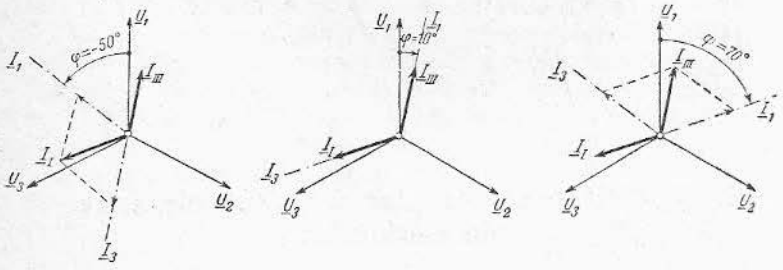
de fază, care îi definesc. Odată stabilite componentele geometrice ale curenților din bobinele de curent ale contorului, se poate trece la reconstituirea și corectarea schemei de conexiuni conform celor indicate în subcap. 5.2.

În cazul în care se cunoaște natura sarcinii și unghiul de defazaj φ, combinația căutată se determină prin simpla comparare a imaginii geometrice a curenților din bobinele de curent ale contorului cu direcția și sensul curenților de fază reali, transpuși în diagrama vectorială.

Ținînd cont de pozițiile posibile ale vectorilor curenților din bobinele de curent ale contorului (vezi fig. 18) se poate concluziona următoarele:

— cel puțin unul din vectorii $\underline{I}_{\mathrm{I}}$ și $\underline{I}_{\mathrm{III}}$ se suprapune în toate cazurile cu direcția unui curent de fază; în acest caz curentul din bobina de curent a contorului coincide cu curentul de fază respectiv, semnul atribuit fiind pozitiv sau negativ după cum curenții sînt de același sens sau au sens contrar;

— dacă vectorul curentului din una dintre bobinele de curent ale contorului este așezat după o bisectoare a unghiului format între direcțiile celor doi curenți de fază, componentele se determină prin construcția grafică, bazată pe regula paralelogramului.



$\underline{I}_I$	$\underline{I}_I+\underline{I}_3$	$\underline{I}_3$	$-\underline{I}_I$
$\underline{I}_{III}$	$-\underline{I}_3$	$\underline{I}_I$	$\underline{I}_I+\underline{I}_3$
Indicativul combinației	*ED*	*BA*	*CE*

Fig. 22. Exemple de identificare a componentelor curenților din bobinele de curent ale contorului.

În fig. 22 se redă un exemplu de identificare a combinațiilor geometrice pentru o imagine dată a cuplului de vectori $\underline{I}_{I}$ și $\underline{I}_{III}$.

Din exemplul prezentat rezultă evident că aceeași imagine geometrică poate reprezenta combinații diferite funcție de natura sarcinii și valoarea unghiului de defazaj φ.

În situația în care nu se cunoaște acest element, determinarea curenților din bobinele de curent ale contorului comportă unele operații de identificare suplimentare, utilizînd proprietățile tabelelor de interpretare.

6.2. Cazul unghiului de defazaj necunoscut

6.2.1. *Circuite de curent cu patru fire*

În cazul montajului cu patru fire se pot întîlni două situații:

— fiecare bobină de curent a contorului este parcursă de cîte un curent de fază secundar; pentru imaginea curenților din bobinele de curent ale contorului rezultînd o pereche de vectori cu poziție relativă bine determinată (primele opt linii din anexa 1);

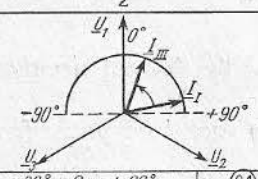
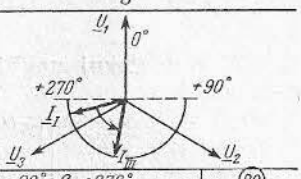
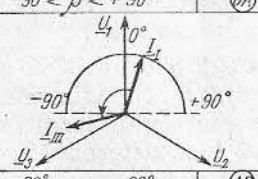
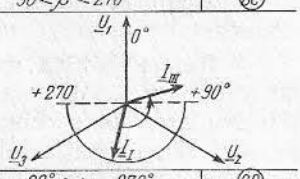
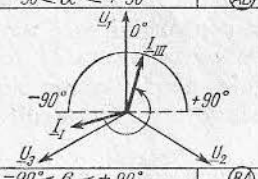
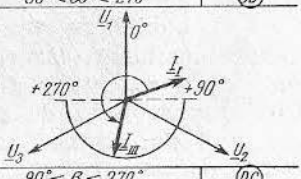
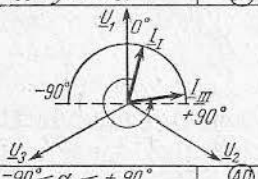
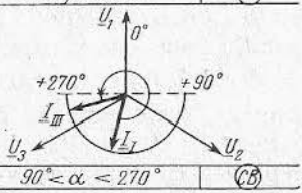
— o bobină de curent a contorului este parcursă de un curent combinat, iar cealaltă este șuntată; imaginea geometrică a curenților din cele două bobine ale contorului fiind reprezentată de un singur vector rezultant (ultimele opt linii din anexa 1).

Analizînd cazurile corespunzătoare primei situații se constată că două cîte două imagini se caracterizează prin aceeași poziție reciprocă a curenților I_{I} și I_{III}, definită prin unghiul de decalaj dintre vectorii $\underline{I}_{I}$, $\underline{I}_{III}$ și prin ordinea lor de succesiune. Aceste perechi de imagini (corespunzătoare liniilor *AB—CD*; *BA—DC*; *AD—CB* și *DA—BC*) reprezintă de fapt același cuplu de vectori, decalat unul față de celălalt cu 180°. În baza acestor cunoștințe, identificarea curenților din bobinele de curent ale contorului se face comparînd poziția cuplului de vectori obținut prin măsurări, cu steaua tensiunilor de fază; rezultatul fiind edificator pentru orice

valoare a factorului de putere. Pentru ușurarea interpretării, în tabelul 7 s-a reprezentat grafic, pentru cele opt cazuri, domeniul de variație a unghiului de poziție (față de tensiunea

Tabelul 7

Corelații între unghiul ψ și domeniul de variație a unghiului de poziție $\alpha(\beta)$ la scheme de conexiuni cu patru fire

Nr. cr.	*Unghiul de decalaj între curenți* $\Psi=\widehat{I_I I_{III}}$	*Domeniul de variație al unghiului de poziție* $\alpha=\widehat{U_1 I_I}$ *sau* $\beta=\underline{U}_1\underline{I}_{III}$ *pentru unghiul de defazaj* $-90°<\varphi<+90°$	
0	*1*	*2*	*3*
1	*60°*	 $-90°<\beta<+90°$ (0A)	 $90°<\beta<270°$ (BC)
2	*120°*	 $-90°<\alpha<+90°$ (AB)	 $90°<\alpha<270°$ (CD)
3	*240°*	 $-90°<\beta<+90°$ (BA)	 $90°<\beta<270°$ (DC)
4	*300°*	 $-90°<\alpha<+90°$ (AD)	 $90°<\alpha<270°$ (CB)

U_1) a acelui curent de acționare, a cărei poziție în raport cu diagrama tensiunilor determină în mod univoc corelația față de curenții de fază. Dacă de exemplu unghiul format între

vectorii $\underline{I}_I$ și $\underline{I}_{III}$ (socotit în sens direct de la primul către al doilea) este de $\psi=60°$ (primul rînd din tabelul 7), determinantă este poziția vectorului $\underline{I}_{III}$. În situația în care acesta din urmă formează un unghi mai mic de 90° față de vectorul $\underline{U}_1$ ne găsim în cazul combinației corespunzătoare liniei *DA*, iar dacă unghiul față de $\underline{U}_1$ este mai mare decît 90°, cazul identificat este cel corespunzător liniei *BC*.

Dacă prin ridicarea diagramei unul din curenții din bobinele de curent ale contorului rezultă nul (liniile *EN—NH* din anexa 1) imaginea obținută (reprezentînd un singur vector) nu este concludentă fără cunoașterea defazajului φ. În această situație, pentru eliminarea nedeterminării efectuăm schimbarea între ele a cîte unei legături de la cele două bobine de curent ale contorului. Prin această modificare schema inițială se transformă — în toate cazurile — într-una din variantele de scheme cuprinse în primele opt linii, pentru care identificarea se face în baza comparării imaginii vectoriale cu tensiunea de fază U_1, conform procedeului indicat mai înainte.

Să presupunem de exemplu că schema inițială corespunde variantei 24 a. Efectuînd măsurările cu wattmetru, constatăm că prin bobina de curent I a contorului curentul rezultant este nul, din care deducem că ne găsim într-una din cazurile corespunzătoare ultimelor opt linii (*EN—NH*) din anexa 1. În consecință efectuăm o schimbare a unei legături de la prima bobină de curent a contorului cu o legătură oarecare de la cea de a doua bobină de curent a contorului, de exemplu înlocuim firul de intrare de la bobina I cu firul de ieșire din bobina III. Prin această modificare de conexiuni se obține varianta de schemă 16 a. Prin ridicarea diagramei curenților după modificarea legăturilor, constatăm că unghiul format între vectorii $\underline{I}_I$ și $\underline{I}_{III}$ este de $\psi=240°$, din care cu ajutorul tabelului 7 deducem că schema obținută corespunde uneia din variantele corespunzătoare liniei *BA* sau *DC*. Totodată observăm că vectorul $\underline{I}_{III}$ formează cu $\underline{U}_1$ un unghi mai mare de 90°, fapt care ne indică în mod cert că schema realizată se găsește în linia *DC*. Corectarea în continuare a schemei se efectuează conform procedeului indicat la paragraful 5.2.2.

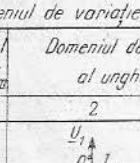
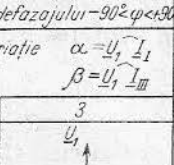
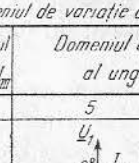
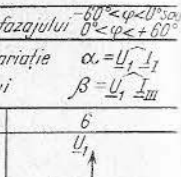
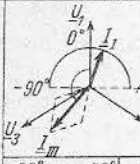
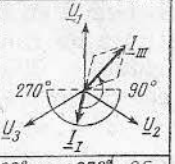
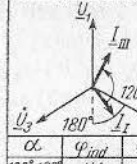
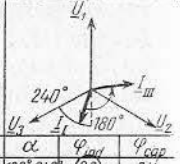
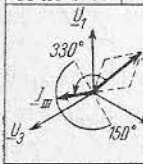
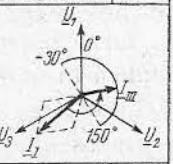
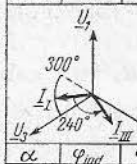
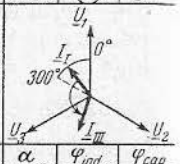
6.2.2. *Circuite de curent cu trei fire*

După cum rezultă din anexa 2, în cazul montajului cu trei fire se pot întîlni cîte opt feluri de imagini caracteristice ale perechii de vectori $\underline{I}_I$ și $\underline{I}_{III}$, pentru fiecare variantă de realizare a punții de legătură la contor. Domeniile de variație ale acestor cupluri de vectori, cu indicativele combinațiilor aferente ale curenților de fază, sînt sintetizate în tabelele 8 și 9, care servesc drept mijloace ajutătoare de interpretare.

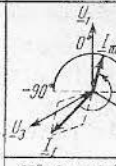
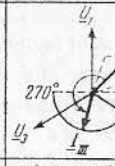
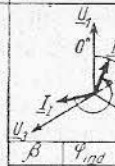
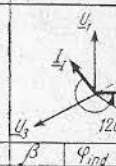
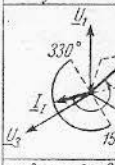
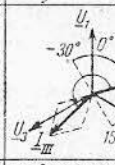
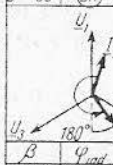
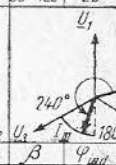
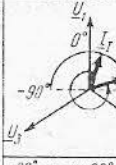
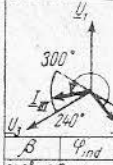
Coloanele 2 și 3 ale tabelelor 8 și 9 cuprind imaginile caracteristice care definesc numai cîte două combinații vectoriale posibile. Pentru aceste cazuri identificarea componente-

Tabelul 8

Corelația dintre unghiul ψ și domeniul de variație a unghiului de poziție α (β) la scheme de conexiuni cu trei fire avînd puntea de legătură la contor de tip 1 și 2

Unghiul $\psi=\hat{I_I\,I_{III}}$	Domeniul de variație al unghiului $\alpha=\hat{U_1\,I_1}$ $\beta=\hat{U_1\,I_{III}}$		Unghiul $\psi=\hat{I_I\,I_{III}}$	Domeniul de variație al unghiului $\alpha=\hat{U_1\,I_1}$ $\beta=\hat{U_1\,I_{III}}$	
Domeniul de variație al defazajului $-90°<\varphi<+90°$			Domeniul de variație al defazajului $-60°<\varphi<0°$ sau $0°<\varphi<+60°$		
1	2	3	4	5	6
60°	 $-90°<\beta<+90°$ (DA)	 $90°<\beta<270°$ (BC)		 α: 0°…60° φ_{ind}: (AB) φ_{cap}: DE	 α: 60°…120° φ_{ind}: DE φ_{cap}: HA
150°	 $-90°<\alpha<+90°$ AG	 $90°<\alpha<270°$ CF	120°	 α: 120°…180° φ_{ind}: HA φ_{cap}: (CD)	 α: 180°…240° φ_{ind}: (CD) φ_{cap}: BH
	 $150°<\beta<330°$ FB	 $-30°<\beta<150°$ GD		 α: 240°…300° φ_{ind}: BH φ_{cap}: EC	 α: 300°…360° φ_{ind}: EC φ_{cap}: (AB)

Tabelul 8 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6
4	210°			240°		
		$-90° \leq \beta < +90°$ | GA	$90° \leq \beta < 270°$ | FC		β | φ_{ind} | φ_{cap} 0°–60° | (BA) | ED	β | φ_{ind} | φ_{cap} 60°–120° | ED | AF
5						
		$150° \leq \alpha < 330°$ | BF	$-30° \leq \alpha < +150°$ | DG		β | φ_{ind} | φ_{cap} 120°–180° | AH | (DC)	β | φ_{ind} | φ_{cap} 180°–240° | (DC) | HF
6	300°					
		$-90° \leq \alpha < +90°$ | (AD)	$90° \leq \alpha < 270°$ | (CB)		β | φ_{ind} | φ_{cap} 240°–300° | HB | CE	β | φ_{ind} | φ_{cap} 300°–360° | CE | (BA)

lor căutate — la orice factor de putere — este posibilă prin simpla comparare a cuplului de vectori cu diagrama tensiunilor de fază. La interpretarea rezultatului comparării se are în vedere domeniul de variație posibilă a unghiului dintre vectorul $\underline{U}_1$ și vectorul $\underline{I}_I(\alpha)$, respectiv $\underline{I}_{III}(\beta)$, evidențiat în mod distinct în tabelele în cauză.

Pentru exemplificare să presupunem că în cazul unui montaj cu punte la contor de tip 1 (realizată între bornele de intrare ale bobinelor de curent) imaginea obținută corespunde situației cînd vectorul $\underline{I}_{III}$ este rotit înainte în sens direct față de $\underline{I}_I$ cu 150°, $\underline{I}_{III}$ avînd modulul mai mic cu $\sqrt{3}$ ori decît $\underline{I}_I$. Cunoscînd unghiul de decalaj ($\psi = 150°$) între vectorii curenților din cele două bobine de curent I și III ale contorului și raportul modulelor acestora, constatăm că imaginea caracteristică se găsește în rîndul 3 al tabelului 8. În continuare se observă poziția vectorului $\underline{I}_{III}$; dacă acesta se găsește în domeniul (150° ... 330°), înseamnă că avem

de a face cu combinația *FB*, iar dacă unghiul β se încadrează în limitele (—30° . . . 150°), schema de montaj corespunde coloanei *GD* din anexa 2.

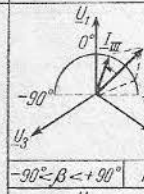
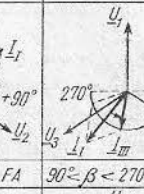
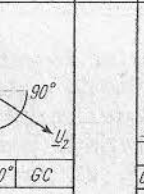
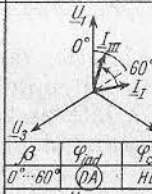
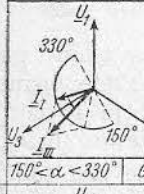
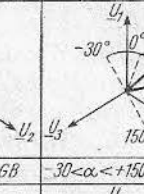
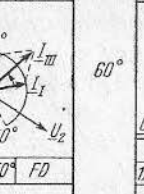
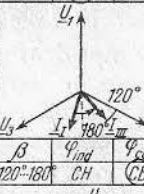
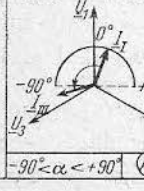
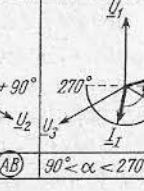
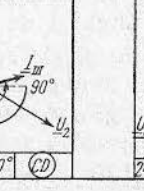
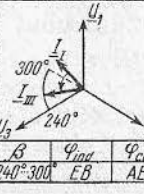
Coloanele 5 și 6 din tabelele ajutătoare sintetizează acele cazuri, la care imaginea caracteristică poate fi atribuită unui număr de șase combinații vectoriale posibile ale curenților de fază, funcție de valoarea factorului de putere. Tabelele permit identificarea directă a combinației căutate, din poziția cuplului de vectori, în următoarele ipoteze:

— se cunoaște natura încărcării (inductivă sau capacitivă),

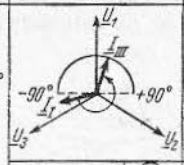
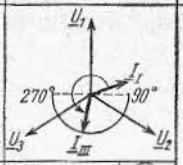
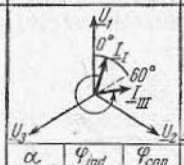
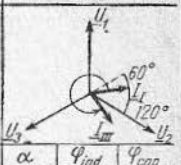
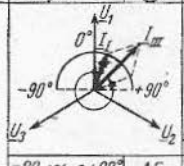
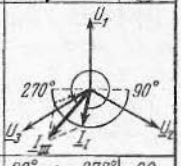
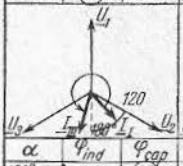
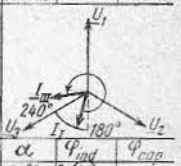
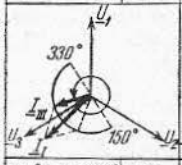
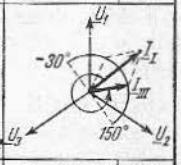
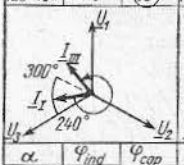
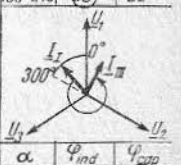
— factorul de putere este mai mare decît 0,5.

Tabelul 9

Corelația dintre unghiul ψ și domeniul de variație a unghiului de poziție α (β) la scheme de conexiuni cu trei fire avînd punctul de legătură la contor de tip 3 și 4

Domeniul de variație al defazajului $-90° \leq \varphi \leq +90°$			Domeniul de variație al defazajului $60° \leq \varphi \leq +60°$		
Unghiul $\psi = \hat{I_1 I_{III}}$	Domeniul de variație al unghiului $\alpha = \hat{U_1 I_1}$ $\beta = \hat{U_1 I_{III}}$		Unghiul $\psi = \hat{I_1 I_{III}}$	Domeniul de variație al unghiului $\alpha = \hat{U_1 I_1}$ $\beta = \hat{U_1 I_{III}}$	
1	2	3	4	5	6
30°	 $-90° \leq \beta \leq +90°$ FA	 $90° \leq \beta \leq 270°$ GC	60°	 β 0°…60° φ_{ind} (DA) φ_{cap} HD	 β 60…120° φ_{ind} HD φ_{cap} CH
	 $150° \leq \alpha \leq 330°$ GB	 $-30° \leq \alpha \leq +150°$ FD		 β 120°…180° φ_{ind} CH φ_{cap} (CB)	 β 180°…240° φ_{ind} (CB) φ_{cap} EB
120°	 $-90° \leq \alpha \leq +90°$ (AB)	 $90° \leq \alpha \leq 270°$ (CD)		 β 240°…300° φ_{ind} EB φ_{cap} AE	 β 300…360° φ_{ind} AE φ_{cap} (DA)

Tabelul 9 (continuare)

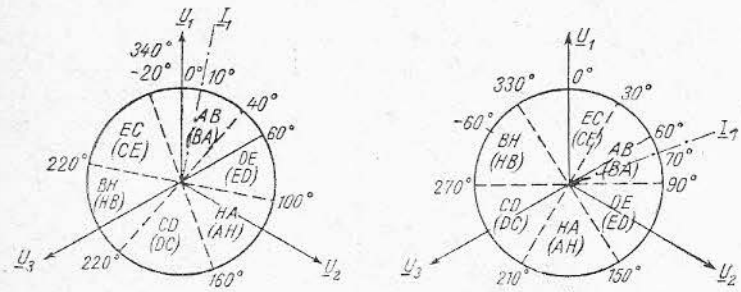
1	2	3	4	5	6
240°					
	$-90° < \beta < +90°$ (BA)	$90° < \beta < 270°$ (DC)		α | φ_{ind} | φ_{cap} $0° \ldots 60°$ (AD) | DH	α | φ_{ind} | φ_{cap} $60° \ldots 120°$ DH | HC
330°			300°		
	$-90° < \alpha < +90°$ AF	$90° < \alpha < 270°$ CG		α | φ_{ind} | φ_{cap} $120° \ldots 180°$ HC | (CB)	α | φ_{ind} | φ_{cap} $180° \ldots 240°$ (CB) | BE
					
	$150° < \beta < 330°$ BG	$-30° < \beta < +150°$ DF		α | φ_{ind} | φ_{cap} $240° \ldots 300°$ BE | EA	α | φ_{ind} | φ_{cap} $300° \ldots 360°$ EA | (AD)

Dacă de exemplu, la aceeaşi poziţie a punţii ca mai înainte, unghiul de decalaj între curenţii din bobinele I şi III ale contorului este $\psi = 240°$, iar vectorul $\underline{I}_{III}$ se găseşte în domeniul $(120° \ldots 180°)$, combinaţia curenţilor I_I şi I_{III} corespunde indicativului *AH* la sarcină capacitivă.

Aplicînd raţionamentul similar celui care a stat la baza delimitării domeniilor de variaţie caracteristice din coloanele 5 şi 6, se poate identifica combinaţia de curenţi indiferent de natura sarcinii şi la valoarea oarecare a factorului de putere, dacă se apreciază unghiul de defazaj al curenţilor de fază cu o aproximaţie de $\pm 30°$.

Să presupunem de exemplu că nu cunoaştem în mod cert caracterul sarcinii, însă ştim că factorul de putere este bun (apropiat de 1), unghiul de defazaj probabil fiind $+10°$. Ţinînd cont de toleranţa $\pm 30°$, rezultă că domeniul în care se poate afla curentul $\underline{I}_1$ este $(-20° \ldots 40°)$, acesta corespunzînd sectorului $(0° \ldots 60°)$ din tabelul 8 (rîndul 1, coloana 5). Dacă împărţim diagrama în şase sectoare de cîte

60°, se obțin domenii delimitate de unghiurile 40°, 100°, 160°, 220°, 280° și 340°, fiecăruia corespunzîndu-i indicativul unei combinații vectoriale bine determinate și anume *DE*,



a b

Fig. 23. Exemplu de stabilire a domeniilor de variație caracteristice ale unghiului de poziție α (β) pentru $\varphi = +10° \pm 30°$:
a — $\cos\varphi > 0{,}5$; *b* — $\cos\varphi < 0{,}5$.

HA, *CD*, *BH*, *EC* și *AB* pentru cazul $\psi = 120°$, respectiv *ED*, *AH*, *DC*, *HB*, *CE* și *BA* pentru cazul $\psi = 240°$. Desigur, în cazul în care defazajul probabil al curentului este mai mare decît 60° (mai mic decît —60°), domeniul caracteristic pentru combinația *AB* respectiv *BA* va fi delimitat de unghiurile 30° și 90° (270° și 330°), indiferent de valoarea factorului de putere (sub limita de 0,5).

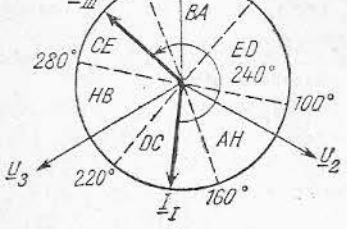


Fig. 24. Exemplu de identificare a combinației curenților din bobinele de curent ale contorului I_I și I_{III} pentru $\psi = 240°$.

Sectoarele delimitate după modul arătat mai înainte și indicativele combinațiilor aferente sînt prezentate în fig. 23.

Reprezentînd cuplul de vectori al curenților din bobinele de curent ale contorului I_I și I_{III} în cîmpul de domenii delimitat conform procedeului indicat, rezultă direct indicativul combinației căutate. Să presupunem că pentru exemplul considerat ($\varphi = +10° \pm 30°$), ajungem prin construirea diagramei curenților, la situația prezentată în fig. 24.

Unghiul format între vectorii I_I și I_{III} (ψ=240°) ne indică faptul că poziția vectorului I_{III} este cea care determină combinația căutată (vezi tabelul 8 coloana 4).

Identificînd sectorul (280° ... 340°) în care se găsește vectorul I_{III} rezultă direct indicativul coloanei (CE) din anexa 2, în care este cuprinsă schema de conexiuni existentă.

Problema specială pe care o constituie alegerea combinației corecte din cele șase variante cuprinse în coloanele 5 și 6 ale tabelelor ajutătoare, se poate reduce la identificarea unghiului de defazaj real din trei valori posibile, care diferă între ele cu 60° respectiv 120°. Aceste unghiuri caracteristice se determină pornind de la diagrama curenților din bobinele de curent ale contorului I_I și I_{III} prin următoarele construcții geometrice:

— se trag dreptele rezultate prin prelungirea direcțiilor celor doi vectori;

— se trage bisectoarea unghiului de 120° format între drepte.

Semidreptele situate în domeniul de variație a unghiului de defazaj (—90°, +90°), corespunde sensului vectorilor care reprezintă curentul I_1 în cele trei cazuri posibile ale unghiului φ.

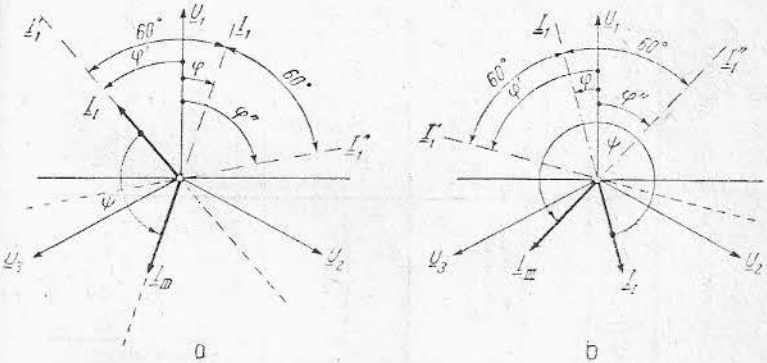


Fig. 25. Exemple de determinare a unghiurilor de defazaj posibile: a — ψ=120°; b — ψ=300°.

În fig. 25 se prezintă prin două exemple modul de determinare a unghiurilor de defazaj, din care urmează a se identifica cel real.

Tabelul 10

Sinteza metodelor de reconstituire a schemei de conexiuni la contorul cu două sisteme

Tipul montajului			Schema de montaj cu trei fire			Schema de montaj cu patru fire	
Fazele principale de reconstituire	Condiții care determină metoda folosită		Puntea de la contor	Unghiul de decalaj,° $\psi=\widehat{\underline{I}_I\ \underline{I}_{III}}$	Puntea de la contor	Unghiul de decalaj,° $\psi=\widehat{\underline{I}_I\ \underline{I}_{III}}$	Curenții de acționare sînt diferiți de zero	Unul din curenții de acționare rezultă nul
			tip 1 și 2 —	120, 240	tip 1 și 2 —	60, 150, 210, 300		
			tip 3 și 4 —	60, 300	tip 3 și 4 —	30, 120, 240, 330		
Determinarea componentelor geometrice ale curenților din bobinele de curent ale contorului I_I și I_{III}	φ este cunoscut		Se compară imaginea geometrică a curenților din bobinele de curent ale contorului cu direcția și sensul curenților de fază reali și se identifică combinațiile vectoriale folosind regula paralelogramului (v. subcap. 6.1).					
	φ se poate estima	$\cos\varphi>0{,}5$ și se cunoaște caracterul sarcinii	Se analizează încadrarea unghiului de poziție $\alpha=\widehat{\underline{U}_1\ \underline{I}_I}$ respectiv $\beta=\widehat{\underline{U}_1\ \underline{I}_{III}}$ în domeniile de variație caracteristice indicate în tabelele 8 și 9 (§ 6.2.2.)			Se analizează încadrarea unghiului α, respectiv β, în domeniile de variație	— Se elimină șuntarea totală a unei bobine de curent a contorului	

	φ se cunoaşte cu o aproximaţie de $\pm 30°$	Se analizează încadrarea unghiului α, respectiv β în domeniile de variaţie caracteristice, determinate în raport cu φ aproximat		caracteristice utilizînd tabelul 7 (§ 6.2.1)	prin schimbarea între ele a două legături; — Se identifică combinaţia corespunzătoare domeniului de variaţie a unghiului α (β) cu ajutorul tabelului 7 (§ 6.2.1)
	φ este necunoscut	— Se determină grafic cele trei valori posibile pentru φ, — Se informează asupra caracterului sarcinii, sau — Se recunoaşte vizual tipul legăturii de pămîntare a transformatorului de curent			
Identificarea şi corectarea legăturilor circuitelor de curent		metoda 1 — reconstituirea pas cu pas în baza analizei circulaţiei curenţilor (§ 5.2.1.) metoda 2 — identificarea directă folosind tabelul de interpretare din anexa 2 (§ 5.2.2)		Se verifică realizarea separării circuitelor şi se elimină eventuala şuntare existentă folosind tabelul 6 (§ 5.2.2)	

Alegerea unghiului real din cele trei valori posibile în cazurile practice nu prezintă o problemă deosebită, ținînd cont de informațiile ce se pot obține din analiza sumară a regimului de funcționare a instalațiilor primare (gradul de compensare a puterii reactive, starea conectat sau deconectat a instalațiilor pentru îmbunătățirea factorului de putere, încărcarea față de regimul normal).

Dacă totuși există incertitudine asupra defazajului probabil, problema se poate rezolva dacă există posibilitatea recunoașterii vizuale a legăturii de pămîntare a transformatoarelor de curent.

Se remarcă din anexa 2 că schemele de conexiuni corespunzătoare unghiurilor posibile conțin numai punte la transformatorele de curent de tip a și b. În două cazuri puntea este de același tip, schemele respective corespunzînd unghiurilor φ' și φ'', situate în afara domeniului $(-30° \ldots +30°)$ — cel mai frecvent întîlnit în practică. Astfel, dacă puntea de pămîntare, recunoscută vizual, corespunde tipului singular din cadrul celor trei scheme identificate, rezultă cu certitudine că defazajul real corespunde unghiului φ din fig. 25. În schimb, dacă puntea coincide cu tipul de legătură care se regăsește în două din cele trei scheme, defazajele posibile corespund la $\varphi' = \varphi - 60°$, respectiv $\varphi'' = \varphi + 60°$. Dintre aceste două alternative, diferite una față de cealaltă cu 120°, identificarea defazajului real nu mai prezintă dificultate.

6.3. Concluzii privind metodele de interpretare

Ținînd cont de complexitatea și diversitatea procedeelor de lucru la contoare trifazate cu două sisteme, în tabelul 10 se prezintă o sinteză a metodelor de reconstituire a schemei de conexiuni pentru circuite de curent. Acest tabel directiv constituie totodată un ghid pentru trimiterea verificatorului la metoda cea mai indicată funcție de natura cazului pe care îl are de soluționat (sistemul de montaj, precizia de cunoaștere a defazajului curenților de fază).

Metodele de verificare a schemelor de conexiuni, bazate pe interpretarea diagramei vectoriale, prezintă avantajul

net față de alte procedee folosite (identificarea fir cu fir prin sunare etc.), de a nu necesita scoaterea de sub tensiune a circuitelor primare. Măsurările efectuîndu-se în circuitele secundare, cu instalațiile aflate în sarcină, verificarea grupului de măsurare nu este legată de programarea altor lucrări de întreținere.

Folosirea unor mijloace ajutătoare de interpretare conferă metodei operativitate ridicată, constituind totodată garanția corectitudinii rezultatelor.

Se remarcă caracterul de valabilitate generală a metodei prezentate pentru verificarea și corectarea montării contoarelor cu două sisteme active, aceasta putînd fi utilizată în cazul oricăror conexiuni, care se bazează pe principiul montajului celor două wattmetre, respectiv a schemei de legare a circuitelor de curent în stea incompletă.

7. Modul practic în care se procedează la verificarea și corectarea schemelor de montaj

7.1. Pregătirea aparatelor și materialelor necesare

Pentru verificarea conectării contoarelor trifazate, în afara trusei de scule obișnuite pentru electricieni și a echipamentului individual de protecția muncii (ochelari de protecție, mănuși electroizolante etc.), se utilizează următoarele aparate portative și materiale specifice:

— voltmetru;

— indicator de succesiune a fazelor;

— wattmetru monofazat (sau trifazat utilizînd un singur sistem activ;

— dispozitive de șuntare (sub formă de potcoviț sau cordoane scurte prevăzute cu cleme crocodil);

— cordoane flexibile din cupru cu secțiune de cel puțin 2,5 mm^2 de lungime potrivită (circa 1,5 m), prevăzute la capete cu o fișă tip banană, respectiv cu papuc cu ureche deschisă;

— degetare izolante;
— plombe și sîrmă de plombare;
— fișe de verificare (luînd ca model tabelele 11 . . . 14).

Domeniul de măsurare al aparatelor trebuie să corespundă tensiunii instalației în care se face verificarea.

7.2. Desfășurarea lucrărilor

7.2.1. *Operații preliminare*

Lucrarea se execută de către doi electricieni, în condițiile respectării măsurilor organizatorice și tehnice de protecția muncii.

Se pregătește locul de muncă, aparatele portative și materialele necesare efectuării măsurărilor.

După recunoașterea contoarelor a căror legături urmează să fie verificate, se scot plombele și se demontează capacele de pe bornele contoarelor de energie activă și reactivă.

Se identifică caracteristicile tehnice ale contoarelor, precum și ale transformatoarelor de măsură (de pe aparate sau din evidențele tehnice). Cu această ocazie este indicat să se verifice prin calcul și valoarea constantelor de multiplicare a înregistrării pentru contorul de energie activă K_a și reactivă K_r.

Este util să se informeze asupra regimului de funcționare a instalației energetice, documentîndu-se în privința caracterului încărcării (inductivă sau capacitivă) și a mărimii orientative a defazajului curenților.

7.2.2. *Fazele principale de lucru*

Metodologia de verificare, bazată pe corectarea în prima etapă a circuitelor de tensiune, dictează o succesiune bine determinată a fazelor de lucru, ele constînd în principal din următoarele operații:

— verificarea cu ajutorul voltmetrului a simetriei sistemului de tensiuni, pentru depistarea eventualelor deranjamente în circuitele de tensiune;

— asigurarea concordanței între borna de tensiune comună a sistemelor active *I*, *III* ale contorului cu două sisteme active și faza de referință;

— verificarea cu indicator și stabilirea succesiunii corecte a fazelor la contor;
— identificarea fazelor instalației, corespunzătoare bornelor de tensiune ale sistemelor active I, II și III ale contorului cu trei sisteme active;
— efectuarea măsurărilor cu wattmetru;
— construirea diagramei vectoriale în fișa de verificare;
— interpretarea diagramei vectoriale inițiale;
— efectuarea fazelor intermediare de modificare a legăturilor și interpretarea diagramelor aferente (dacă este cazul);
— recunoașterea schemei de montaj;
— corectarea legăturilor circuitelor de curent și controlul rezultatului;
— punerea în concordanță a legăturilor contorului de energie reactivă cu circuitele corectate ale contorului de energie activă.

7.3. Îndrumări practice

Dacă se constată o asimetrie pronunțată a sistemului de tensiuni aplicat la bornele contorului, înseamnă că există fie deranjament în circuitele de tensiune (siguranță arsă, întrerupere de circuit), fie eroare de conexiune internă (sau marcaj greșit) la transformatoarele de măsură. În aceste cazuri este necesară în prima fază depistarea și eliminarea deranjamentului, respectiv corectarea conexiunii greșite.

Cu ocazia identificării fazei de referință, la contoare cu două sisteme active, prin crearea asimetriei artificiale (scoaterea siguranței primare de la faza fără transformator de curent), valorile tensiunilor care se măsoară la borne pot diferi de cele stabilite teoretic. Pentru obținerea valorilor concludente măsurările cu voltmetru se efectuează la circuitele secundare în gol, eliberîndu-se firele din bornele contorului.

Verificarea secvenței fazelor se face realizînd contacte între bornele R, S, T ale indicatorului de succesiune și bornele de tensiune ale contorului în funcțiune, respectînd ordinea acestora de la stînga la dreapta. În aceste condiții, rotirea discului aparatului în sensul mișcării acelor ceasornicului are semnificația existenței succesiunii directe.

La racordarea wattmetrului trebuie avut grijă ca borna stelată să fie folosită ca bornă de început, aceasta fiind condiția asigurării polarității corecte.

La scheme de montaj ale contoarelor realizate cu fir comun, bobina de curent a wattmetrului se înseriază în circuit la borna bobinei de curent a contorului care nu este racordată la un loc cu puntea de legătură.

La orice întrerupere a circuitelor de curent (pentru racordarea wattmetrului, modificarea legăturilor la borne) este obligatorie șuntarea prealabilă a secundarelor transformatoarelor de curent. În scopul înlesnirii acestor operații de șuntare este utilă instalarea șirului de cleme în apropierea bornelor contorului.

Măsurarea proiecțiilor vectorului curentului ce parcurge una din bobinele de curent ale contorului se efectuează cu bobina de curent a wattmetrului înseriată în circuitul respectiv, aplicînd pe rînd bobinei de tensiune a aparatului cele trei tensiuni culese de pe bornele contorului. Astfel, în cazul contoarelor cu trei sisteme active se aplică în ordine tensiunile de fază U_{1N}, U_{2N} și U_{3N}, iar la contoarele cu două sisteme active, tensiunile de linie U_{12}, U_{23} și U_{31}. Cu aceste măsurări se obțin, pentru fiecare bobină de curent a contorului, cîte trei valori exprimate în diviziunile scării wattmetrului, care la o anumită scară reprezintă proiecțiile vectorilor de curent.

În cazul utilizării wattmetrului care nu are reperul 0 la mijlocul scării, la tendința de deviere spre stînga a acului indicator, citirea diviziunilor devine posibilă după inversarea polarității tensiunii aplicate; în acest caz rezultatul obținut înscriindu-se în tabelul de citire cu semnul negativ.

Reprezentarea în diagramă a vectorului curentului ce parcurge una din bobinele de curent a contorului se obține prin construcție grafică, folosind diviziunile din tabelul de citire drept coordonate, transpuse (la o scară potrivită) pe direcțiile vectorilor de tensiune adoptate ca axe de referință. Din punctele de coordonate însemnate pe cele trei axe se ridică linii ajutătoare perpendiculare, a căror intersecție determină locul vîrfului vectorului de curent. Prin unirea originii sistemului de referință cu punctul de intersecție, se obține imaginea grafică a curentului ce parcurge bobina de curent a sistemului activ verificat.

Se menționează că vîrful vectorului este definit prin două coordonate; totuși pentru controlul rezultatelor este util a se folosi și de a treia proiecție. Mărimea triunghiului, care se formează în locul unui punct de intersecție, exprimă gradul de imprecizie a citirii și reprezentării. În asemenea cazuri, se poate considera satisfăcătoare definirea vîrfului vectorului prin centrul triunghiului.

Rezultatele verificărilor și măsurile luate pentru corectare (dacă este cazul) se consemnează în fișă, care se certifică de către verificatori.

La grupurile de măsurare care servesc pentru decontarea către consumator sau evidența schimbului de energie între organe de exploatare diferite, constatările vor fi însușite de către reprezentanții părților interesate.

8. Exemple de corectare a circuitelor de măsură cu conexiuni greșite

8.1. Cazul controlului cu trei sisteme active în conexiune semidirectă

În fișa de verificare din tabelul 11 este exemplificată utilizarea diagramei vectoriale pentru verificarea și corectarea legării unui contor cu trei sisteme active, la care circuitele de tensiune sînt separate de cele de curent.

În prima fază s-a verificat simetria și succesiunea tensiunilor la bornele contorului, acestea găsindu-se corespunzătoare. În continuare s-au identificat cu ajutorul voltmetrului fazele circuitelor primare *1*, *2*, și *3* corespunzătoare bornelor de tensiune ale sistemelor active I, II și III ale contorului.

Măsurările s-au efectuat folosind montajul prezentat în fig. 15, înseriind pe rînd bobina de curent a wattmetrului în cele trei circuite de curent ale contorului.

Construind diagrama vectorială a curenților cu ajutorul proiecțiilor măsurate, din asocierea direcției vectorilor $\underline{U}_1$

Tabelul 11

Exemplu de verificare a schemei de legare pentru contor trifazat cu trei sisteme active

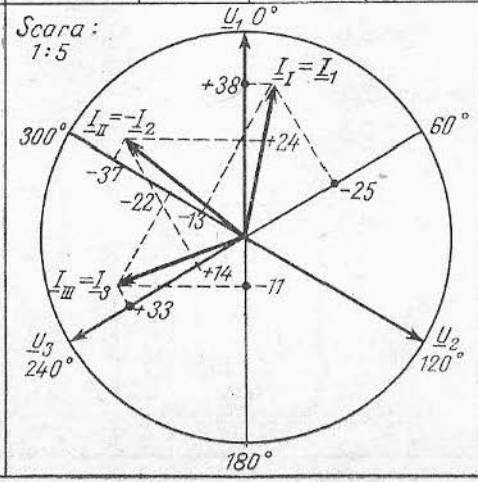
Punctul de măsurare: I M. HARGHITA PT·2

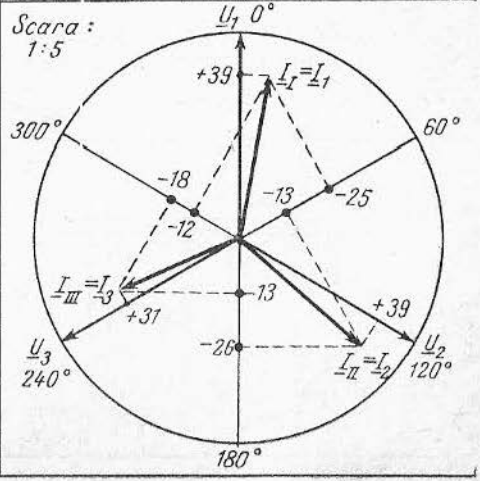
		Contor activ	Contor reactiv	Transformatoare de curent	Constanta grupului
Caracteristicile grupului de măsurare	Tipul	KRIZIK	CR–33	CIS–0,5	$K_a = 6$
	Seria	1.902.232	1.514.858	—	
	Raport de curent	100/5	600/5	600/5	$K_r = 10$
	Constanta internă (C)	1	10	—	
Corespondența circuitelor	S-a constatat corespondența circuitelor de curent cu cele de tensiune la fiecare sistem activ				
Succesiunea fazelor	Corespunde (este directă)				
Durata blocării grupului	De la ora: 10^{15}	la ora: 11^{25}		Durata: 1^{10}	

Tabelul 11 (continuare)

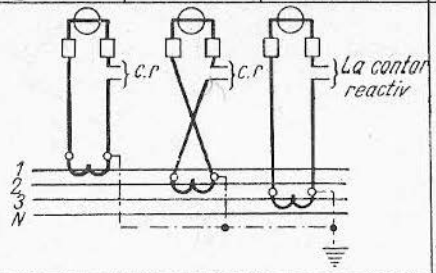
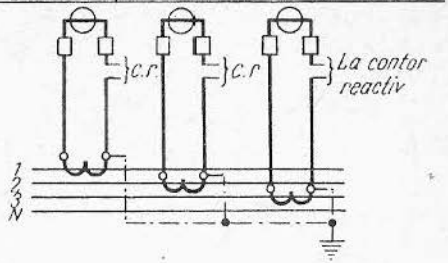
Rezultatele măsurărilor cu wattmetru	Prima măsurare			A doua măsurare			
	Sistemul activ	Coordonatele pe direcția tensiunilor			Sistemul activ	Coordonatele pe direcția tensiunilor		
		U_{1N}	U_{2N}	U_{3N}		U_{1N}	U_{2N}	U_{3N}
	I	+38	−13	−25	I	+39	−12	−25
	II	+24	−37	+14	II	−26	+39	−13
	III	−11	−22	+33	III	−13	−18	+31

Diagrama vectorială a curenților din bobinele de curent ale sistemelor active





Tabelul 11 (continuare)

	$\underline{I}_I = \underline{I}_1$	$\underline{I}_{II} = -\underline{I}_2$	$\underline{I}_{III} = \underline{I}_3$	$\underline{I}_I = \underline{I}_1$	$\underline{I}_{II} = \underline{I}_2$	$\underline{I}_{III} = \underline{I}_3$
Schema de montaj a circuitelor de curent						
Concluzii și măsuri de corectare	Prin sistemul II trece inversul curentului secundar de pe faza 2. Pentru corectare este necesară schimbarea polarității			În urma schimbării legăturilor circuitului de curent al sistemului II la bornele contorului, s-a realizat montajul corect		
Concordanta legăturilor cu contorul reactiv	La corectarea montajului s-a avut în vedere perfectarea legăturilor și la contorul reactiv					

Reprezentantul consumatorului:
Semnătura:.....

Data:.....

Numele verificatorului.....
și semnătura:.....

și $\underline{I}_I$, $\underline{U}_2$ și $\underline{I}_{II}$ respectiv $\underline{U}_3$ și $\underline{I}_{III}$ s-a constatat că există concordanță între circuitele de tensiune și de curent ale aceleiași faze, singura eroare constînd în inversarea polarității curentului I_2 în bobina de curent II a contorului. Ca urmare, pentru corectarea montajului a fost necesară inversarea legăturilor la bornele bobinei de curent în cauză.

Prin repetarea măsurării și ridicarea noii diagrame s-a confirmat perfectarea urmărită.

8.2. Cazul contorului cu două sisteme active în conexiune indirectă

8.2.1. *Circuite de curent cu patru fire*

În tabelul 12 s-au prezentat rezultatele verificării montajului la un contor trifazat cu două sisteme active, circuitele secundare de curent fiind realizate cu patru fire.

În prima fază s-a analizat simetria tensiunilor, verificîndu-se cu voltmetru egalitatea tensiunilor de linie secundare aplicate la bornele contorului.

Valoarea acestor tensiuni rezultînd egală cu 100 V, s-a eliminat posibilitatea existenței unor erori ale schemei, datorită întreruperii circuitelor de tensiune. În continuare s-a verificat dacă tensiunea de referință U_2 este aplicată la borna de mijloc (comună celor două sisteme active ale contorului). Pentru acest scop s-a executat manevra de deschidere a separatorului celulei de măsură, s-a scos siguranța de pe faza de referință (fără transformator de curent), apoi s-a închis separatorul, punînd grupul de măsură sub tensiune prin cele două faze echipate cu transformator de curent.

S-au dezlegat bobinele de tensiune ale contorului și s-au măsurat cu voltmetru tensiunile de linie în gol, obținînd următoarele rezultate:

— între firele corespunzătoare bornei de tensiune a sistemului activ I și a bornei comune . . . . . 100 V;

— între firele provenite de la borna comună și borna de tensiune a sistemului activ III . . . . . 50 V;

— între firele aferente bornelor de tensiune ale sistemelor active I și III . . . . . 50 V.

Exemplu de verificare a schemei de legare realizată cu patru fire pentru contor trifazat cu două sisteme active

Tabelul 12

Punctul de măsurare: PT 6/0,4 KV FILATURA DE IN - GHEORGHIENI

Caracteristicile grupului de măsurare

	Contor activ	Contor reactiv	Transformat. de curent	Transformat. de tensiune	Constanta grupului
Tipul	KRIZIC	CR-32	CIPT-10	TIBU-6	$K_a = 100$
Seria	1.553.826	312.584	—	—	
Raport de curent	20/5	200/5	200/5	—	
Raport de tensiune	6000/100	15000/100	—	6000/100	$K_r = 04$
Constanta internă	10	1	—	—	

Poziția fazei de referință: Tensiunea de referință s-a găsit aplicată la borna de tensiune a sistemului III. Pentru corectare s-au invèrsat legăturile de la borna comună și borna sistemului activ III

Succesiunea fazelor: Succesiunea fazelor rezultînd inversă, s-a procedat la schimbarea între ele a legăturilor de la bornele de tensiune ale sistemelor active I și III

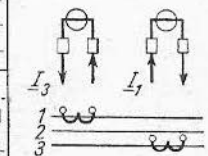
Durata blocării grupului: De la ora: 10^{50} la ora: 12^{20} durata: 1^{30}

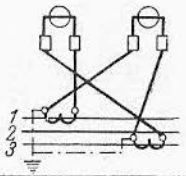
Rezultatele măsurărilor cu wattmetrul

	Prima măsurare			A doua masurare				A treia măsurare			
Sistemul activ	Coordonatele pe directia tensiunilor			Sistemul activ	Coordonatele pe directia tensiunilor			Sistemul activ	Coordonatele pe directia tensiunilor		
	U_{12}	U_{23}	U_{31}		U_{12}	U_{23}	U_{31}		U_{12}	U_{23}	U_{31}
I	+10	+20	-30	I	+20	+6	-25	I	+30	-10	-20
III	+30	-10	-20	III	0	0	0	III	-10	-20	+30

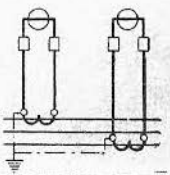
Schema de montaj a circuitelor de curent

Tab. nr. 7	$\underline{I}_I = -\underline{I}_3$	$\underline{I}_{III} = \underline{I}_1$	Tab. nr. 6
$\psi = 60°$			$\psi =$ ----
$\alpha =$ —			Coloana 9d
$\beta = -20°$			$\beta =$ ----
Anexa 1			Anexa 1
Linia DA			Fig. 18a
Coloana 2			Linia FN

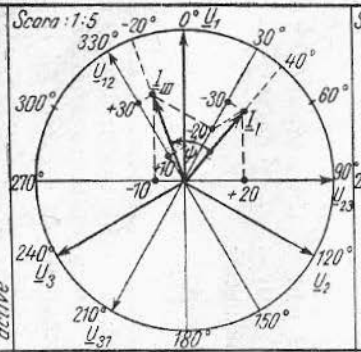
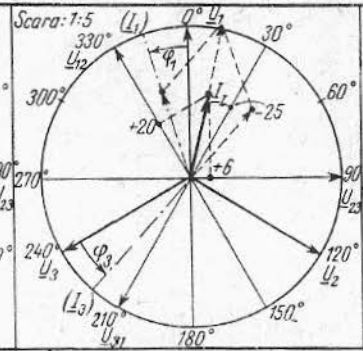
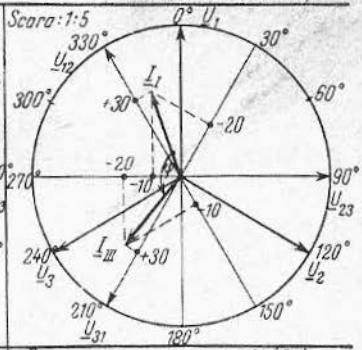




$\underline{I}_1 = \underline{I}_1$	$\underline{I}_{III} = \underline{I}_3$	Tab. nr. 7
		$\psi = 120°$
		$\alpha = -20°$
		$\beta =$ ----
		Anexa 1
		Fig. 1a
		Linia AB



Tabelul 12 (continuare)

Diagrama vectorială a curenților din bobinele de curent ale sistemelor active	*Scara: 1:5* 	*Scara: 1:5* 	*Scara: 1:5* 
Concluzii și măsuri de corectare	*Conexiunea circuitelor de curent este eronată*	*Conform indicațiilor din tabelul 6 s-au efectuat modificări corespunzătoare schemei 15 d, prin:* *-schimbarea între ele a firelor de ieșire din cele două sisteme active* *-inversarea legăturilor la bornele sistemului activ III*	*Comparînd schema realizată (18a) cu cea corectă (1) din linia AB, perfectarea conexiunii s-a realizat prin modificările următoare:* *-firul de intrare de la sistemul I s-a mutat la ieșirea sistemului III* *-firul de intrare de la sistemul III s-a trecut la intrarea sistemului I* *-firul de ieșire din sistemul III s-a mutat la intrarea aceluiași sistem activ*
Concordanța legăturilor cu contorul reactiv			*Prin interpretarea noii diograme s-a certificat perfectarea conexiunii contorului de energie activă, cu care s-a adus în concordanță și contorul de energie reactivă*

Reprezentantul consumatorului
Semnătura:

Data: _____

Numele verificatorului
și semnătura: _____

Din cele de mai sus s-a constatat aplicarea greşită a tensiunilor, faza de referinţă găsindu-se la borna de tensiune a sistemului activ III.

Pentru corectare s-au inversat între ele firele de tensiune de la borna de mijloc şi sistemul activ III, realizînd astfel aplicarea corectă a tensiunii de referinţă.

După racordarea circuitelor secundare corectate la bornele de tensiune ale contorului, s-a reintrodus siguranţa primară la faza de referinţă, efectuînd manevrele necesare.

În continuare s-a verificat secvenţa fazelor cu ajutorul indicatorului de succesiune şi s-a constatat că aceasta este inversă. Pentru obţinerea succesiunii directe s-au schimbat între ele legăturile bornelor de tensiune ale celor două sisteme active, păstrîndu-se la mijloc poziţia fazei de referinţă.

Circuitele de tensiune fiind corectate, s-a trecut la efectuarea măsurărilor cu wattmetru, realizîndu-se montajul din fig. 17.

Cu ajutorul proiecţiilor rezultate din măsurări s-a reprezentat grafic în fişa de verificare diagrama vectorială a curenţilor $\underline{I}_{I}$ şi $\underline{I}_{III}$ din cele două sisteme active.

Nefiind cunoscut unghiul de defazaj al curenţilor (φ), pentru identificarea combinaţiei curenţilor $\underline{I}_{I}$, $\underline{I}_{III}$ s-a folosit tabelul 7. Unghiul de decalaj între vectorii $\underline{I}_{I}$ şi $\underline{I}_{III}$ rezultînd $\psi=60°$, s-a analizat poziţia vectorului $\underline{I}_{III}$ faţă de vectorul tensiunii de fază $\underline{U}_{1}$. Unghiul de decalaj β între aceşti doi vectori s-a găsit în domeniul ($-90°$, $+90°$), din care s-a dedus că schema de conexiuni corespunde indicativului *DA*, corelaţia între curenţii I_{I}, I_{III} şi curenţii de fază secundari I_{1} şi I_{3} fiind următoarea:

$$I_{I}=-I_{3} \text{ şi } I_{III}=I_{1}.$$

Urmărind principiul de corectare şi separare a circuitelor de curent bazat pe utilizarea tabelului ajutător 6, s-au efectuat modificări de corectare corespunzătoare schemei 15 d (variantă neprobabilă), prin compararea ei cu fig. 1, constînd din:

— schimbarea între ele a firelor de la ieşirea din cele două sisteme active;

— inversarea legăturilor la bornele sistemului activ III.

Prin ridicarea diagramei vectoriale pentru noua situație, din imaginea obținută — corespunzătoare combinațiilor $\underline{I}_I=\lambda(\underline{I}_1-\underline{I}_3)$ și $\underline{I}_{III}=0$ — s-a identificat că schema de montaj corespunde liniei *FN* din anexa *1*. Comparînd indicativele schemelor din această linie cu cele cuprinse în coloana *m* d($m=15$) din tabelul 6, a rezultat că schema obținută corespunde variantei 18 a (singura variantă comună a celor două tabele).

În consecință, pentru corectarea definitivă — în baza comparației cu schema *1* din linia *AB* — s-au executat următoarele schimbări de legătură:

— firul de intrare de la sistemul activ I s-a mutat la ieșirea sistemului activ III;

— firul de intrare de la sistemul activ III s-a trecut la intrarea sistemului activ I;

— firul de ieșire din sistemul activ III s-a mutat la intrarea aceluiași sistem activ.

Prin interpretarea unei noi diagrame ridicate s-a certificat executarea fără erori a schimbărilor de legătură pentru separarea circuitelor de curent și realizarea schemei de conexiuni corecte, corespunzătoare variantei 1 din anexa 1.

8.2.2. *Circuite de curent cu trei fire*

Tabelul 13 sintetizează rezultatele verificării și corectării unui montaj cu trei fire, la care puntea de legătură la contor este realizată între bornele de intrare ale sistemelor active (fir de dus comun).

Analizînd circuitele de tensiune s-a constatat existența simetriei și a succesiunii directe, rezultînd totodată că faza de referință este aplicată corect la borna contorului, comună celor două sisteme active.

Pentru măsurarea proiecțiilor necesare construirii diagramei curenților, wattmetrul s-a înseriat pe rînd în circuitul de întoarcere a celor două sisteme active. Prin reprezentarea grafică s-a obținut un cuplu de vectori, la care $\underline{I}_I$ este decalat în urmă față de $\underline{I}_{III}$ cu unghiul $\psi=300°$. Constatînd că vectorul $\underline{I}_I$ formează cu $\underline{U}_1$ un unghi α cuprins în domeniul (90° . . . 270°), folosind tabelul 8 s-a dedus că schema conexiunii corespunde combinației *CB*. Astfel a rezultat că sistemul activ I este acționat de inversul curentului $\underline{I}_1$,

Tabelul 13

Exemplu de verificare a schemei de legare realizată cu trei fire avînd conductor de dus comun, pentru contor trifazat cu două sisteme active

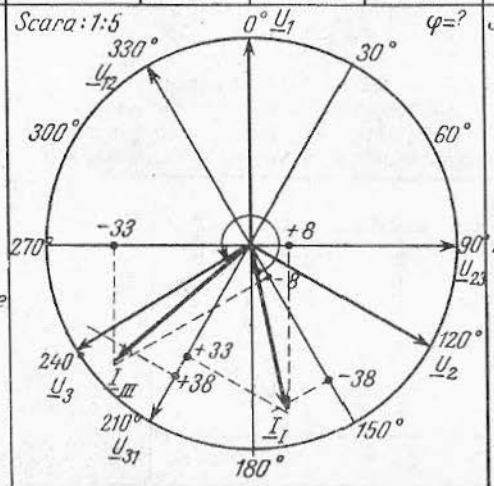
Punctul de măsurare : PT 15/0,4 KV I R U M Reghin

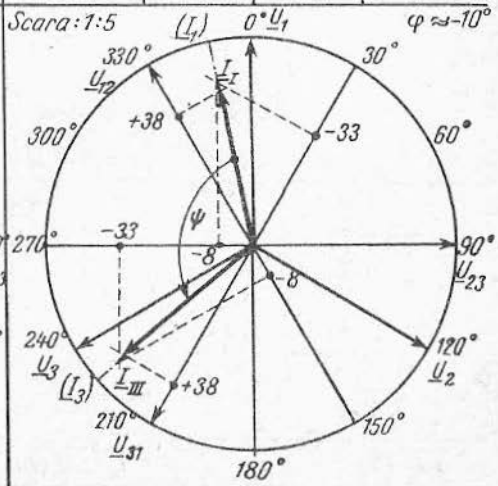
		Contor activ	Contor reactiv	Transformat. de curent	Transformat. de tensiune	Constanta grupului
Caracteristicile grupului de masurare	Tipul	KRIZIK	CR-32	CIPT-15	TIBU-15	k_a =12,5
	Seria	1.062.469	88.756	—	—	
	Raport de curent	100/5	x/5	50/5	—	
	Raport de tensiune	6000/100	y/100	—	15.000/100	k_r =1500
	Constanta internă	100	1	—	—	
Poziția fazei de referință	Faza de referință este aplicată corect la borna de tensiune comună celor două sisteme ale contorului					
Succesiunea fazelor	Este directă					
Durata blocării grupului	De la ora : 12^{45}		la ora : 13^{30}		durata : 0^{45}	

Tabelul 13 (continuare)

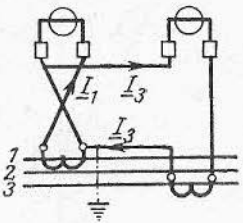
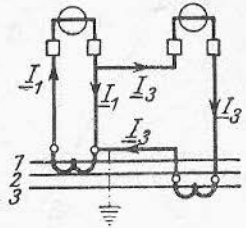
Rezultatele măsurărilor cu wattmetru	Prima măsurare				A doua măsurare			
	Sistemul activ	Coordonatele pe direcția tensiunilor			Sistemul activ	Coordonatele pe direcția tensiunilor		
		U_{12}	U_{23}	U_{31}		U_{12}	U_{23}	U_{31}
	I	−38	+8	+33	I	+38	−8	−33
	III	−8	−33	+38	III	−8	−33	+38

Diagrama vectorială a curenților din bobinele de curent ale sistemelor active





Tabelul 13 (continuare)

Schema de montaj a circuitelor de curent	Tab. nr. 8 $\psi = 300°$ $\alpha = 170°$ $\beta =$ — Anexa 2 Linia CB Coloana 3	$\underline{I}_I = -\underline{I}_1$	$\underline{I}_{III} = \underline{I}_3$	Tab. nr. 8 $\psi = 120°$ $\alpha = -10°$ β — Anexa 2 Linia AB Coloana 5	$\underline{I}_I = \underline{I}_1$	$\underline{I}_{III} = \underline{I}_3$
						
Concluzii și măsuri de corectare	Conexiunea este eronată din comparația schemei CB, cu schema AB au rezultant modificările de legături pentru perfectarea schemei de montaj, acestea constînd din: – inversarea legăturilor la sistemul I, – realizarea punții între borna de ieșire a sistemului I și borna de intrare a sistemului III. Nova diagramă ridicată certifică realizarea concordanței legăturii de punte la contor cu cea de la transformatoarele de curent					
Concordanța legăturilor cu contorul reactiv	Contorul de energie reactivă s-a adus în concordanță cu contorul de energie activă					

Reprezentantul consumatorului:
Semnătura: _____

Data: _____

Numele verificatorului: _____
și semnătura: _____

iar sistemul activ III de curentul I_3, deci montajul conține eroare de conexiune.

În cazul în care s-ar fi cunoscut valoarea unghiului de defazaj φ, același rezultat s-ar fi obținut direct (fără ajutorul tabelului 8), comparînd imaginea curenților I_I și I_{III} cu direcțiile curenților de fază, transpuse în diagrama vectorială.

Schema eronată, corespunzătoare circulației reale a curenților, s-a identificat folosind tabelul de interpretare din anexa 2, la întretăierea liniei *CB* cu coloana 3 (corespunzător tipului de punte la bornele contorului). Din această schemă a reieșit și faptul că puntea de pămîntare stabilește legătură între sfîrșitul înfășurării secundare a transformatorului de curent de pe faza 1 și începutul transformatorului de curent de pe faza 3. Schema corectă corespunzătoare acestui tip de punte de pămîntare se găsește în coloana 5, linia *AB*. Pentru eliminarea erorii de conexiune, din comparația celor două scheme au rezultat modificările necesare ale legăturilor, constînd din:

— inversarea legăturilor la sistemul activ I;

— modificarea punții la contor, realizînd legătura între borna de ieșire a sistemului activ I și borna de intrare a sistemului activ III.

Justa interpretare a situației verificate și corectitudinea măsurilor de perfectare s-a confirmat printr-o nouă diagramă ridicată, din care a rezultat implicit și valoarea unghiului de defazaj, necunoscut la început (φ capacitiv).

În tabelul 14 sînt prezentate concluziile verificării și corectării unei alte scheme de montaj cu trei fire, puntea la contor fiind realizată de această dată între bornele de sfîrșit ale sistemelor active (fir de întoarcere comun).

Din analiza circuitelor de tensiune a rezultat că acestea sînt în ordine ca simetrie, succesiune, precum și concordanța între primarul și secundarul fazei de referință.

În urma măsurărilor cu wattmetru, s-a construit diagrama curenților, obținînd un cuplu de vectori, unghiul de decalaj între $\underline{I}_I$ și $\underline{I}_{III}$ fiind $\psi = 240°$.

Din cercetarea prealabilă a naturii sarcinii s-a putut stabili că încărcarea este inductivă, factorul de putere fiind $\cos \varphi > 0{,}5$.

Tabelul 14

Exemplu de verificare a schemei de legare realizată cu trei fire având conductor de întoarcere comun, pentru contor trifazat cu două sisteme active

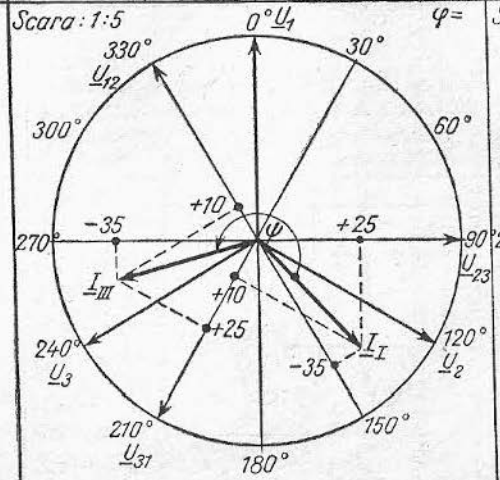
Punctul de măsurare : P.T. 6/0,4 KV 101 L Tg. Mureș

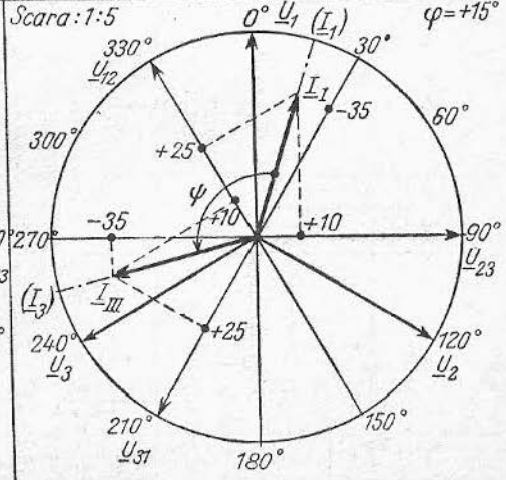
		Contor activ	Contor reactiv	Transformat. de curent	Transformat. de tensiune	Constanta grupului
Caracteristicile grupului de măsurare	Tipul	KRIZIK	CR-32	CIRS-10	TIRB-6	$k_a = 900$
	Seria	1.901.955	79.825	—	—	
	Raport de curent	x/5	x/5	75/5	—	
	Raport de tensiune	y/100	y/100	—	6000/100	$k_r = 900$
	Constanta internă	1	1	—	—	
Poziția fazei de referință	Faza de referință este aplicată corect la borna de tensiune comună celor două sisteme active ale contorului					
Succesiunea fazelor	Este directă					
Durata blocării grupului	De la ora : 8^{30}		la ora : 9^{20}		durata : 0^{50}	

Tabelul 14 (continuare)

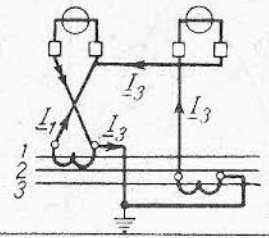
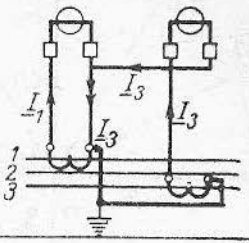
Rezultatele măsurărilor cu wattmetru	Prima măsurare				A doua măsurare			
	Sistemul activ	Coordonatele pe direcția tensiunilor			Sistemul activ	Coordonatele pe direcția tensiunilor		
		U_{12}	U_{23}	U_{31}		U_{12}	U_{23}	U_{31}
	I	−35	+25	+10	I	+25	+10	−35
	III	+10	−35	+25	III	+10	−35	+25

Diagrama vectorială a curenților din bobinele de curent ale sistemelor active





Tabelul 14 (continuare)

Schema de montaj a circuitelor de curent	*Tab. nr. 8* $\psi = 240°$ $\alpha = -$ $\beta = 255°$ *Anexa 2* *Linia HB* *Coloana 4*	$\underline{I}_I = -\underline{I}_1 - \underline{I}_3$	$\underline{I}_{III} = \underline{I}_3$	*Tab. nr. 8* $\psi = 120°$ $\alpha = \pm 15°$ $\beta = -$ *Anexa 2* *Linia AB* *Coloana 4*	$\underline{I}_I = \underline{I}_1$	$\underline{I}_{III} = \underline{I}_3$
						
Concluzii și măsuri de corectare	*Schema de legături conține eroare de conexiune. Din comparația schemei HB cu schema corectă AB s-a constatat necesitatea inversării legăturilor la sistemul activ I*			*Prin inversarea legăturilor de la sistemul I al contorului s-a obținut conexiunea corectă, certificată de noua diagramă.*		
Concordanța legăturilor cu contorul reactiv	*Odată cu perfectarea schemei s-a pus în concordanță cu contorul de energie activă și conexiunile contorului de energie reactivă.*					

Reprezentantul consumatorului :
*Semnătura :*_____ *Data :*_____

*Numele verificatorului :*_____
*și semnătura :*_____

Analizînd poziția vectorului $\underline{I}_{III}$ față de $\underline{U}_1$, care este determinantă în cazul decalajului $\psi=240°$, s-a constatat că unghiul $\beta=\widehat{\underline{U}_1\underline{I}_{III}}$ se găsește în domeniul (240° . . . 300°). Cu aceste informații, prin utilizarea tabelului 8 s-a identificat că montajul corespunde combinației *HB* din anexa 2, existînd următoarea corelație între curenții din sistemele active ale contorului și curenții de fază secundari:

$$\underline{I}_I=-\underline{I}_1-\underline{I}_3 \text{ și } \underline{I}_{III}=\underline{I}_2.$$

Faptul că bobina de curent din sistemul activ *I* este parcursă de un curent combinat în loc de curentul de fază I_1, este o consecință evidentă a existenței erorii de conexiune.

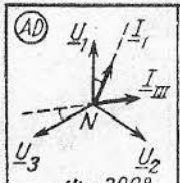
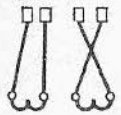
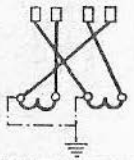
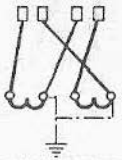
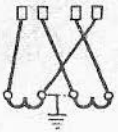
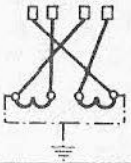
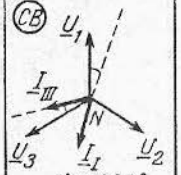
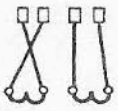
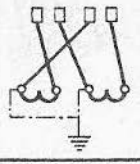
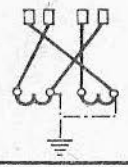
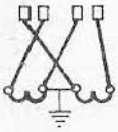
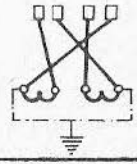
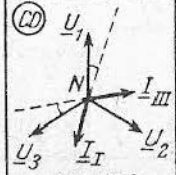
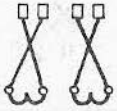
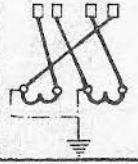
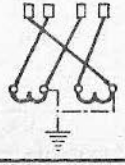
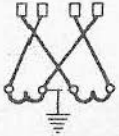
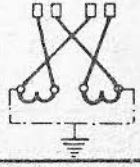
În coloana 4, linia *HB*, a tabelului de interpretare s-a identificat situația schemei existente, constatîndu-se implicit și modul de realizare a punții de pămîntare — aceasta stabilind legătura funcțională între sfîrșitul secundarelor celor două transformatoare de curent. Ca urmare a comparării schemei reconstituite cu schema corectă din linia *AB*, a rezultat necesară inversarea legăturilor la bornele sistemului activ I.

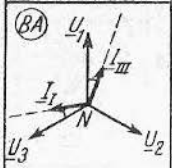
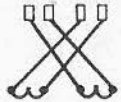
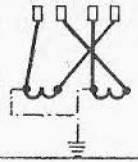
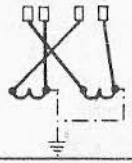
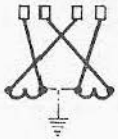
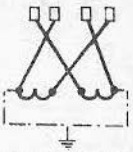
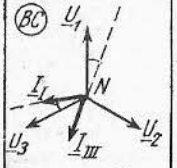
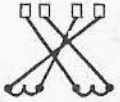
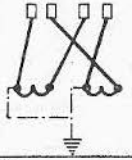
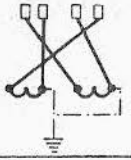
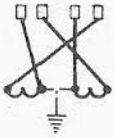
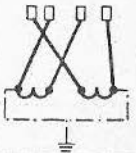
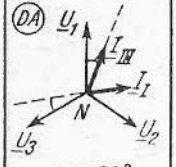
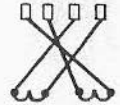
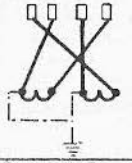
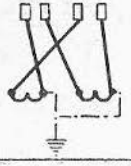
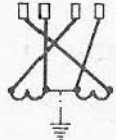
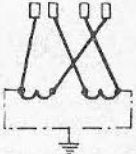
Ca și în exemplele precedente, s-a procedat la controlul obținerii schemei corecte prin ridicarea și interpretarea diagramei curenților pentru noua situație realizată.

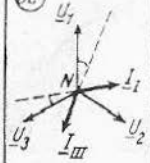
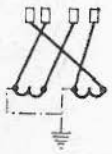
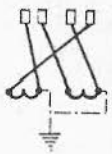
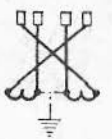
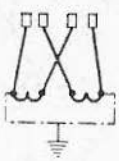
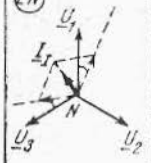
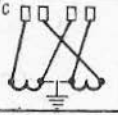
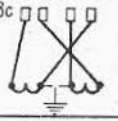
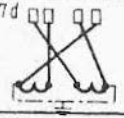
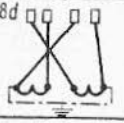
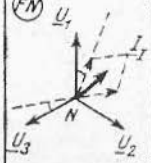
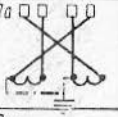
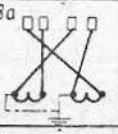
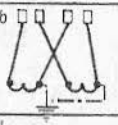
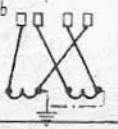
Anexa 1

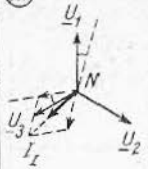
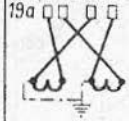
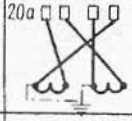
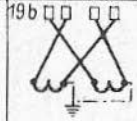
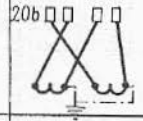
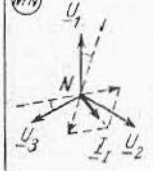
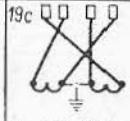
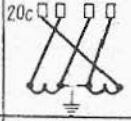
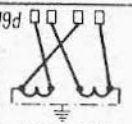
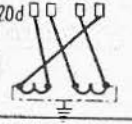
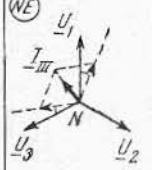
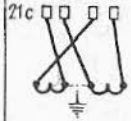
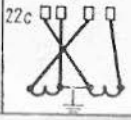
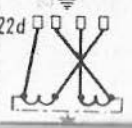
Interpretarea diagramelor vectoriale caracteristice, corespunzătoare variantelor posibile de legare a circuitelor de curent la contoare cu două sisteme active — cazul montajului cu patru fire — în ipoteza că legăturile circuitelor de tensiune sînt corecte

Diagramele caracteristice ale curenților din bobinele de curent ale sistemelor active	Curenții din bobinele de curent ale sistemelor active I și III	Schemele de montaj a circuitelor de curent în cazurile posibile de legare la pămînt a secundarelor transformatoarelor de curent				
		Circuitele sînt independente	Circuitele de curent ale celor două transformatoare nu sînt independente			
		Oricare din cazurile a, b, c, d	a	b	c	d
1	2	3	4	5	6	7
(AB) $\underline{U}_1$ $\underline{I}_1$ $\underline{I}_I$ $\underline{I}_{III}$ $\underline{I}_3$ ψ N $\underline{U}_3$ $\underline{U}_2$ $\psi=120°$	$\underline{I}_I = \underline{I}_1$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_3$	(1)	9a	9b	9c	9d

AD  $\psi=300°$	$\underline{I}_I = \underline{I}_1$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_3$	2 	10a 	10b 	10c 	10d 
CB  $\psi=300°$	$\underline{I}_I = -\underline{I}_1$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_3$	3 	11a 	11b 	11c 	11d 
CD  $\psi=120°$	$\underline{I}_I = -\underline{I}_1$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_3$	4 	12a 	12b 	12c 	12d 

1	2	3	4	5	6	7
(BA)  $\psi = 240°$	$\underline{I}_I = \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_1$	(5) 	13a 	13b 	13c 	13d 
(BC)  $\psi = 60°$	$\underline{I}_I = \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1$	(6) 	14a 	14b 	14c 	14d 
(DA)  $\psi = 60°$	$\underline{I}_I = -\underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_1$	(7) 	15a 	15b 	15c 	15d 

(DC)  $\psi = 240°$	$\underline{I}_I = -\underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1$	(8)	16a 	16b 	16c 	16d 
(FN) 	$\underline{I}_I = \lambda(\underline{I}_1 + \underline{I}_3)$ $\underline{I}_{III} = 0$	—	—	—	17c  18c 	17d  18d 
(FN) 	$\underline{I}_I = \lambda(\underline{I}_1 - \underline{I}_3)$ $\underline{I}_{III} = 0$	—	17a  18a 	17b  18b 	—	—

1	2	3	4	5	6	7
(GN) 	$\underline{I}_I = \lambda(-\underline{I}_1 + \underline{I}_3)$ $\underline{I}_{III} = 0$	—	19a  20a 	19b  20b 	—	—
(MN) 	$\underline{I}_I = \lambda(-\underline{I}_1 - \underline{I}_3)$ $\underline{I}_{III} = 0$	—	—	—	19c  20c 	19d  20d 
(NE) 	$\underline{I}_I = 0$ $\underline{I}_{III} = \lambda(\underline{I}_1 + \underline{I}_3)$	—	—	—	21c  22c 	21d 22d 

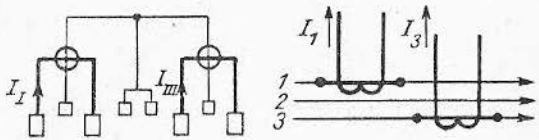
Observații :

1. Diagramele vectoriale sînt exemplificate pentru sarcină inductivă.

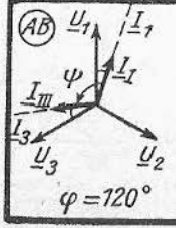
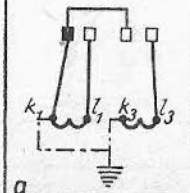
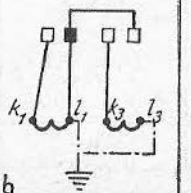
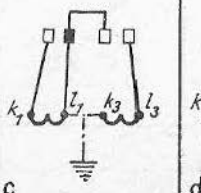
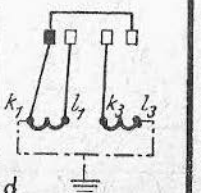
2. λ este un coeficient subunitar care ține cont de creșterea impedanței secundare a transformatoarelor de curent.

3. I_I, I_{III}, sînt curenții din bobinele de curent ale sistemelor active așa cum se poate vedea în figura alăturată.

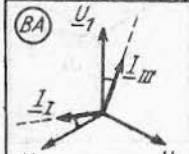
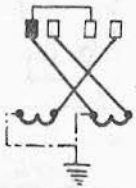
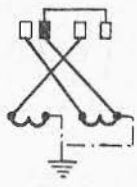
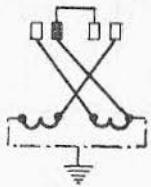
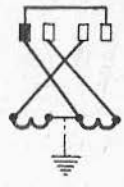
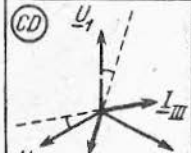
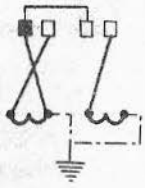
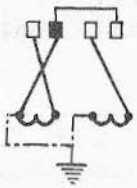
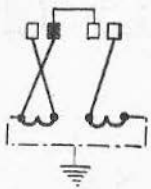
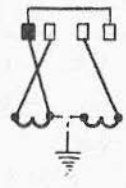
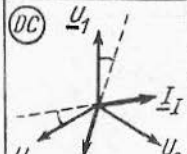
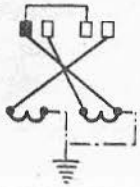
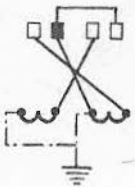
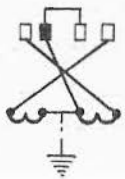
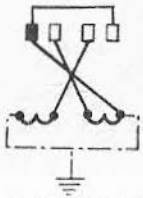
4. I_1, I_3 sînt curenții din secundarul transformatoarelor de curent, așa cum se poate vedea în figura alăturată.

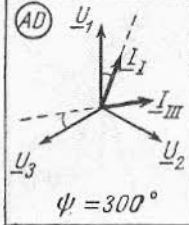
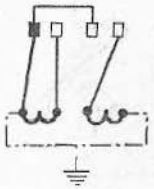
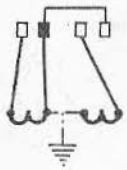
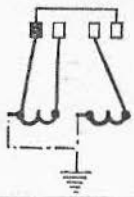
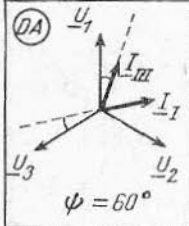
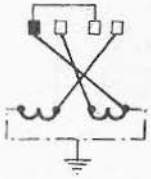
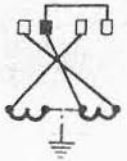
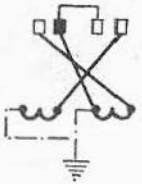
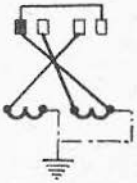
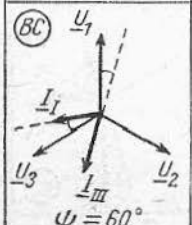
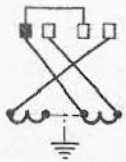
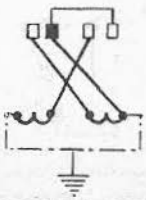
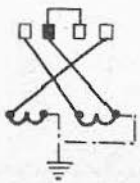


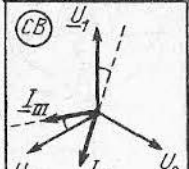
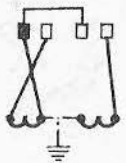
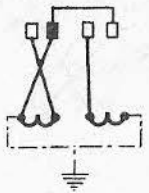
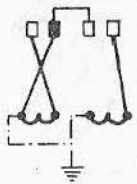
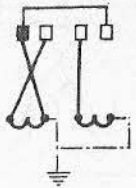
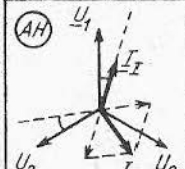
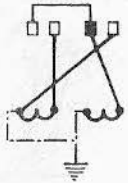
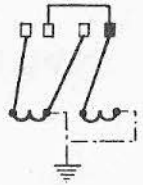
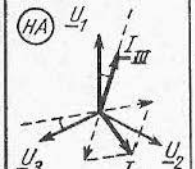
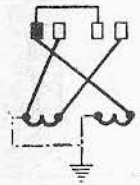
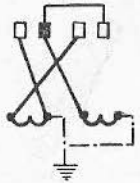
Interpretarea diagramelor vectoriale caracteristice corespunzătoare variantelor posibile de legare a circuitelor de curent la contoarele cu două sisteme active – cazul montajului cu trei fire – în ipoteza că legăturile la bobinele de tensiune sînt corecte

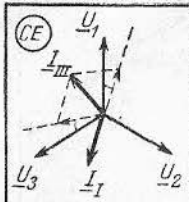
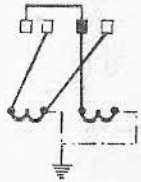
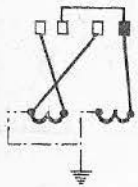
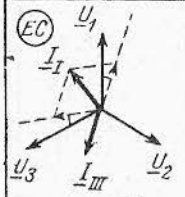
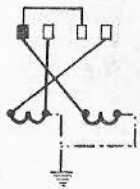
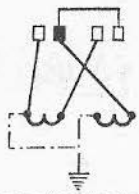
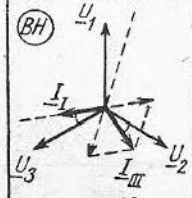
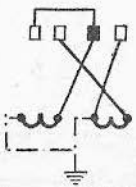
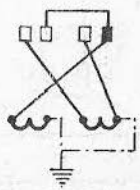
Diagrama caracteristică	Curenții din bobinele de curent ale sistemelor active I și III.	Schemele de montaj a ansamblului circuitelor de curent pentru cazurile posibile de realizare a punții de legătură la contor			
		1	2	3	4
1	2	3	4	5	6
AB  $\varphi = 120°$	$\underline{I}_I = \underline{I}_1$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_3$	 a	 b	 c	 d

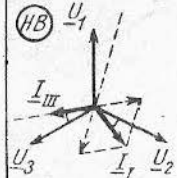
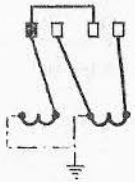
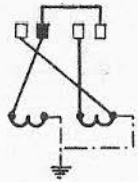
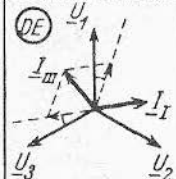
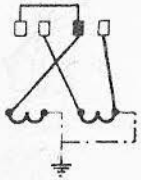
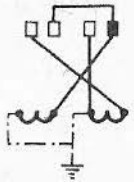
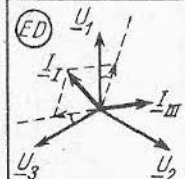
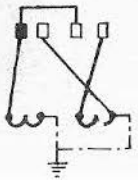
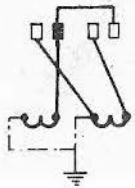
Anexa 2 (continuare)

1	2	3	4	5	6
(BA)  $\psi = 240°$	$\underline{I}_1 = \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_1$				
(CD)  $\psi = 120°$	$\underline{I}_I = -\underline{I}_1$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_3$				
(DC)  $\psi = 240°$	$\underline{I}_I = -\underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1$				

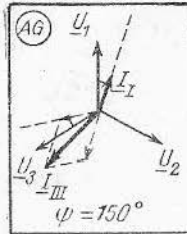
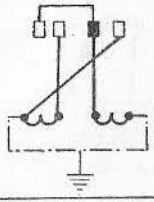
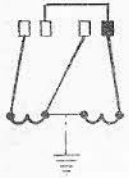
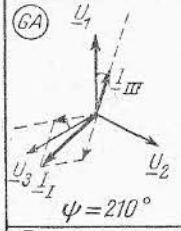
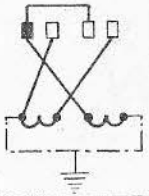
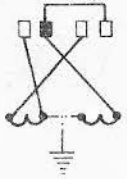
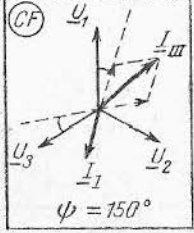
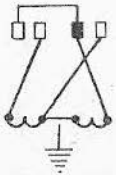
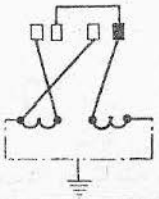
AD  $\psi = 300°$	$\underline{I}_1 = \underline{I}_1$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_3$				
OA  $\psi = 60°$	$\underline{I}_1 = -\underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_1$				
BC  $\psi = 60°$	$\underline{I}_1 = \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1$				

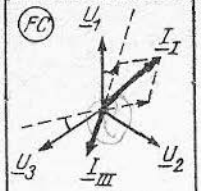
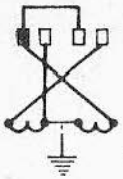
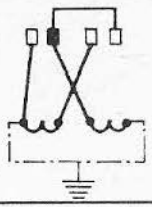
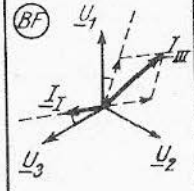
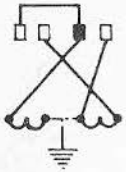
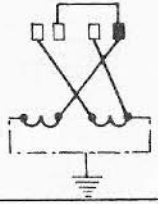
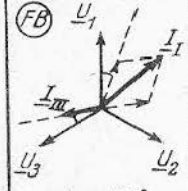
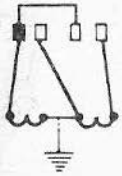
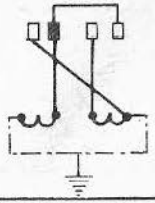
1	2	3	4	5	6
(CB)  $\psi = 300°$	$\underline{I}_I = -\underline{I}_1$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_3$				
(AH)  $\psi = 240°$	$\underline{I}_I = \underline{I}_1$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1 - \underline{I}_3 =$ $= \underline{I}_2$			—	—
(HA)  $\psi = 120°$	$\underline{I}_I = -\underline{I}_1 - \underline{I}_3 =$ $= \underline{I}_2$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_1$			—	—

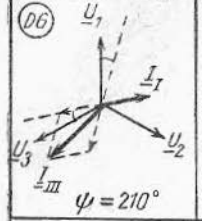
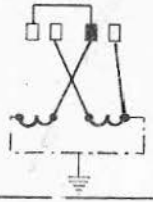
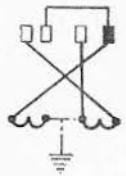
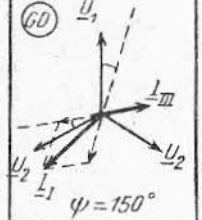
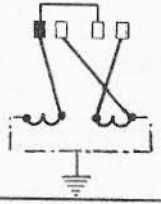
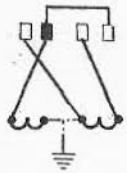
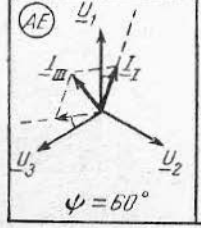
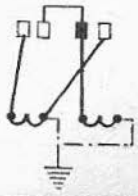
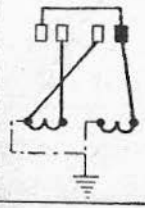
CE  $\psi = 240°$	$\underline{I}_I = -\underline{I}_1$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_1 + \underline{I}_3$			—	—
EC  $\psi = 120°$	$\underline{I}_I = \underline{I}_1 + \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1$			—	—
BH  $\psi = 120°$	$\underline{I}_I = \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1 - \underline{I}_3 =$ $= \underline{I}_2$			—	—

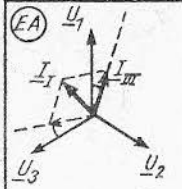
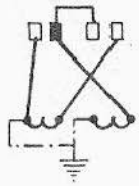
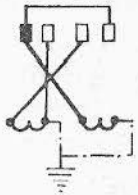
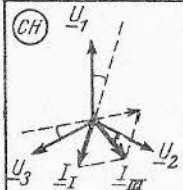
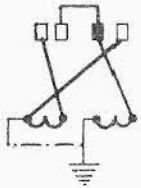
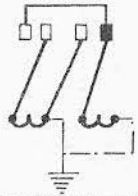
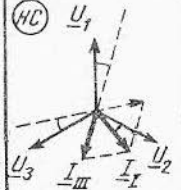
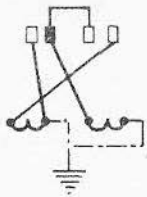
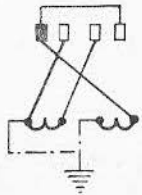
1	2	3	4	5	6
HB  $\psi = 240°$	$\underline{I}_I = -\underline{I}_1 - \underline{I}_3 = \underline{I}_2$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_3$			—	—
DE  $\psi = 120°$	$\underline{I}_I = -\underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_1 + \underline{I}_3$			—	—
ED  $\psi = 240°$	$\underline{I}_I = \underline{I}_1 + \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_3$			—	—

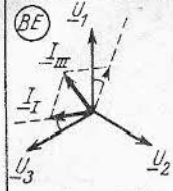
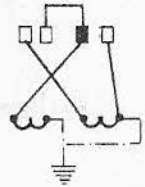
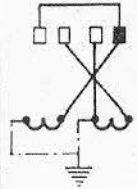
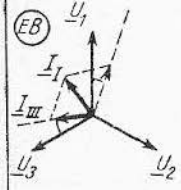
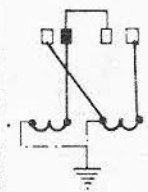
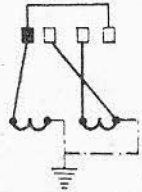
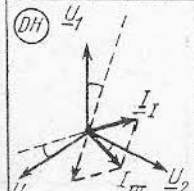
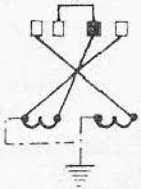
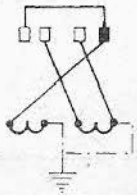
Anexa 2 (continuare)

AG 	$\underline{I}_I = \underline{I}_1$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1 + \underline{I}_3$			—	—
GA 	$\underline{I}_I = -\underline{I}_1 + \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_1$			—	—
CF 	$\underline{I}_1 = -\underline{I}_1$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_1 - \underline{I}_3$			—	—

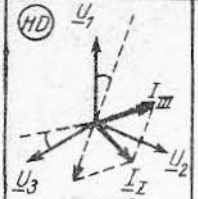
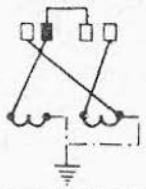
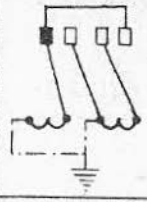
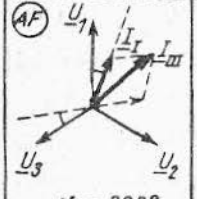
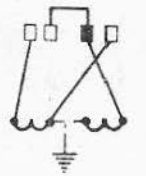
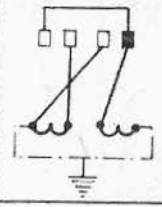
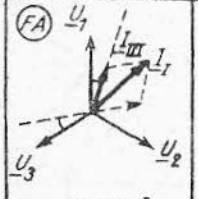
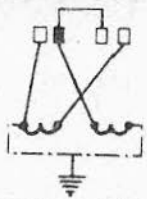
1	2	3	4	5	6
(FC)  $\psi = 210°$	$\underline{I}_I = \underline{I}_1 - \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1$			—	—
(BF)  $\psi = 210°$	$\underline{I}_I = \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_1 - \underline{I}_3$			—	—
(FB)  $\psi = 150°$	$\underline{I}_I = \underline{I}_1 - \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_3$			—	—

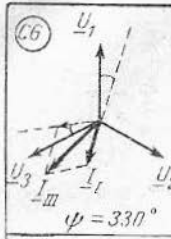
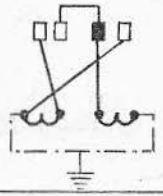
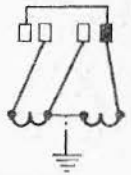
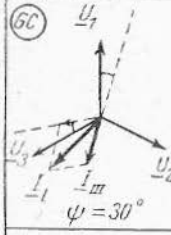
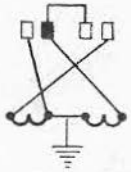
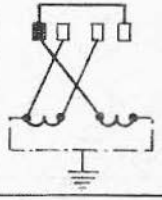
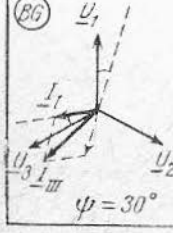
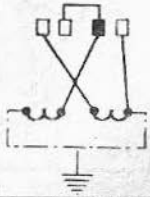
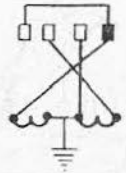
(D6)  $\psi = 210°$	$\underline{I}_I = -\underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1 + \underline{I}_3$			—	—
(C0)  $\psi = 150°$	$\underline{I}_I = -\underline{I}_1 + \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_3$			—	—
(AF)  $\psi = 60°$	$\underline{I}_I = \underline{I}_1$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_1 + \underline{I}_3 =$ $= -\underline{I}_2$	—	—		

1	2	3	4	5	6
(EA)  $\psi = 300°$	$\underline{I}_I = \underline{I}_1 + \underline{I}_3 =$ $= -\underline{I}_2$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_1$	—	—		
(CH)  $\psi = 60°$	$\underline{I}_I = -\underline{I}_1$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1 - \underline{I}_3 =$ $= \underline{I}_2$	—	—		
(HC)  $\psi = 300°$	$\underline{I}_I = -\underline{I}_1 - \underline{I}_3 =$ $= \underline{I}_2$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1$	—	—		

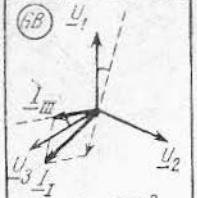
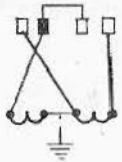
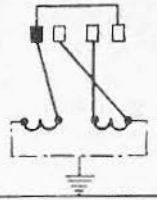
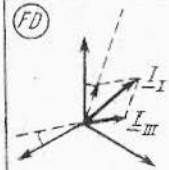
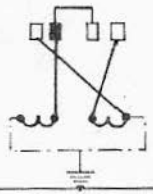
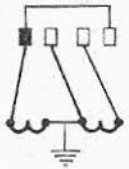
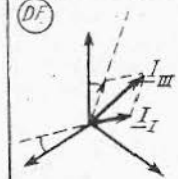
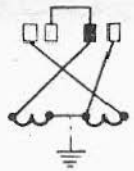
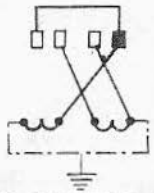
BE  $\psi = 300°$	$\underline{I}_I = \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_1 + \underline{I}_3$	—	—		
EB  $\psi = 60°$	$\underline{I}_I = \underline{I}_1 + \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_3$	—	—		
DH  $\psi = 300°$	$\underline{I}_I = -\underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1 - \underline{I}_3 =$ $= \underline{I}_2$	—	—		

Anexa 2 (continuare)

1	2	3	4	5	6
HD  $\psi = 60°$	$\underline{I}_I = -\underline{I}_1 - \underline{I}_3 = \underline{I}_2$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_3$	—	—		
AF  $\psi = 330°$	$\underline{I}_I = I_1$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_1 - \underline{I}_3$	—	—		
FA  $\psi = 30°$	$\underline{I}_I = \underline{I}_1 - \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_1$	—	—		

2.6 	$\underline{I}_I = -\underline{I}_1$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1 + \underline{I}_3$	—	—		
6C 	$\underline{I}_I = -\underline{I}_1 + \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1$	—	—		
8G 	$\underline{I}_I = \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1 + \underline{I}_3$	—	—		

Anexa 2 (continuare)

1	2	3	4	5	6
GB  $\psi = 330°$	$\underline{I}_I = -\underline{I}_1 + \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_3$	—	—		
FD  $\psi = 330°$	$\underline{I}_I = \underline{I}_1 - \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_3$	—	—		
DF  $\psi = 30°$	$\underline{I}_1 = -\underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_1 - \underline{I}_3$	—	—		

Observații: 1. Diagramele vectoriale sînt exemplificate pentru sarcină inductivă. 2. Semnificațiile

Bibliografie

1. *Antoniu, I. S.* **Aparate de măsurat și măsurări electrice uzuale.** București, Editura tehnică, 1962.
2. *Baida, L. I.* ș.a. **Curs general de măsurări electrice** (traducere din l. rusă). București, Editura Energetică de stat, 1953.
3. *Chiriță, Gh.* și *Alexe, C.* **Cartea instalatorului electrician.** București, Editura tehnică, 1966.
4. *Dordea, R.* și *Rusu, N.* **Aparate electrice de măsurat.** București, Editura didactică și pedagogică, 1962.
5. *Feldman, V.* și *Văleanu, U.* **Utilizarea rațională a energiei electrice.** București, Editura tehnică, 1966.
6. *Hámori, A.* **Villanyszerelés.** Budapest, Müszaki könyvkiadó, 1958.
7. *Ionescu, D* și *Chiorăscu, C.* **Aparate și metode de măsurat electrice.** București, Editura didactică și pedagogică, 1964.
8. *Popa, M.* și *Ene, M.* **Culegere de probleme de electrotehnică și electroenergetică.** București, Editura didactică și pedagogică, 1964.
9. *Popov, V. S.* **Măsurări și aparate electrotehnice de măsurat** (traducere din l. rusă). București, Editura energetică de stat, 1953.
10. *Vostroknutov, N. G.* **Contoare electrice și exploatarea lor** (traducere din l. rusă). București, Editura tehnică, 1951.
11. *Stîrbulescu, I.* și *Georgescu, C.* **Utilizarea contoarelor electrice de curent alternativ.** București, Editura tehnică, 1969.
12. Fișă tehnologică. **Montarea, verificarea pe teren și demontarea contoarelor** Cod. 3.2.—F.T. 2—68.
13. **Manualul inginerului electrician.** Vol. I. București, Editura tehnică, 1963.
14. *Drăgan Ștefan,* **Exploatarea și întreținerea transformatoarelor de măsură.** București, Editura tehnică, 1969.
15. *Kerekes, I.* și *Lokodi, Z.* **Perfecționarea metodei de verificare a legării corecte a contoarelor trifazate, bazate pe diagrama vectorială** (inovație aprobată pentru generalizare de către M.E.E. cu nr. 85623/02.10.72)

Cuprins

Prefață 3

1. Consecințele erorilor de montare a contoarelor 5

1.1. Importanța și necesitatea legăturilor corecte la montarea contoarelor trifazate 5

1.2. Diversitatea schemelor de montaj 6

1.3. Erorile de înregistrare determinate de abateri în schema de conexiuni 11

2. Utilizarea reprezentărilor grafice pentru fundamentarea metodei de verificare 16

2.1. Reprezentarea vectorială a tensiunilor și curenților în sistemul alternativ trifazat 16

2.2. Semnificația geometrică a puterii măsurate de contoare trifazate 18

3. Ridicarea diagramei vectoriale 22

3.1. Principiul construcției grafice 22

3.2. Diagrama vectorială la contorul trifazat cu trei sisteme active 24

3.3. Diagrama vectorială la contorul trifazat cu două sisteme active 28

4. Principiul de interpretare a diagramei vectoriale 32

4.1. Probleme legate de reconstituirea montajului real 32

4.2. Simplificarea procedeului de interpretare 33

4.3. Corelația între diagramele caracteristice și schemele de conexiuni ale circuitelor de curent 34

4.4. Influența modului de legare la pământ a transformatoarelor de curent 36

5. Reconstituirea și corectarea circuitelor de măsură 39

5.1. Corectarea schemei de conexiuni a circuitelor de tensiune . . 39

5.2. Identificarea și corectarea legăturilor circuitelor de curent . 41

5.2.1. Reconstituirea pas cu pas a circuitelor 41

5.2.2. Utilizarea tabelelor de interpretare 43

6. Identificarea curenților din sistemele active ale contorului . . . 49

6.1. Cazul unghiului de defazaj cunoscut 49

6.2. Cazul unghiului de defazaj necunoscut 51

6.2.1. Circuite de curent cu patru fire 51

6.2.2. Circuite de curent cu trei fire 54

6.3. Concluzii privind metodele de interpretare 62

7. **Modul practic în care se procedează la verificarea şi corectarea schemelor de montaj** 63
7.1. Pregătirea aparatelor şi materialelor necesare 63
7.2. Desfăşurarea lucrărilor 64
7.2.1. Operaţii preliminare 64
7.2.2. Fazele principale de lucru 64
7.3. Îndrumări practice 65
8. **Exemple de corectare a circuitelor de măsură cu conexiuni greşite** 67
8.1. Cazul contorului cu trei sisteme active în conexiune semidirectă 67
8.2. Cazul contorului cu două sisteme active în conexiune indirectă 71
8.2.1. Circuite de curent cu patru fire 71
8.2.2. Circuite de curent cu trei fire 75
Anexa 1 84
Anexa 2 91
Bibliografie 105